

Mô phỏng ứng xử và đánh giá tỷ lệ tiết diện hợp lý của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông chịu uốn cắt đồng thời bằng phân tích FEM

Nguyễn Trọng Vinh^{1,*}, Lê Anh Tuấn²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học - Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Thành phố Huế, tỉnh Thừa Thiên Huế

²Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, 54 Nguyễn Lương Bằng, Quận Liên Chiểu, Đà Nẵng

Liên hệ

Nguyễn Trọng Vinh, Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học - Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Thành phố Huế, tỉnh Thừa Thiên Huế

Email: vinhx1b@gmail.com

Lịch sử

- Ngày nhận: 03/1/2018
- Ngày chấp nhận: 20/12/2018
- Ngày đăng: 31/12/2019

DOI : 10.32508/stdjet.v2i4.714



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Với nhiều ưu điểm vượt trội nên hiện nay, kết cấu sử dụng ống thép tròn rỗng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong tất cả các loại công trình. Để đáp ứng sự phát triển mạnh mẽ của kết cấu ống thép tròn rỗng đã có rất nhiều nghiên cứu tính toán về liên kết của loại kết cấu này. Liên kết trong kết cấu ống thép tròn rỗng được sử dụng phổ biến hiện nay là liên kết hàn và liên kết sử dụng mặt bích và bulông. Tuy nhiên hầu hết các nghiên cứu cũng như các chỉ dẫn tính toán chỉ tập trung nhiều về liên kết hàn còn liên kết nối đầu sử dụng mặt bích và bulông chỉ dừng lại ở các trường hợp chịu lực đơn giản như chịu kéo, nén hoặc uốn mà chưa có các chỉ dẫn tính toán trong trường hợp liên kết chịu lực phức tạp (như trường hợp uốn cắt đồng thời, kéo/nén uốn đồng thời hay xoắn hay xoắn kéo/nén đồng thời...). Nghiên cứu sử dụng mô phỏng FEM cho liên kết nối ống thép trong sử dụng mặt bích và bulông với nhiều sự thay đổi khác nhau về kích cỡ ống (cỡ nhỏ, cỡ trung, cỡ lớn) và các kích thước về chiều dày mặt bích, đường kính bulông, chiều dày ống thép nhằm rút ra quy luật quan hệ giữa các kích thước. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra những quy luật ứng xử của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông trong trường hợp chịu uốn cắt đồng thời, từ đó đề xuất các thông số hợp lý của liên kết (mối quan hệ giữa chiều dày bản mã, đường kính bulông và chiều dày ống thép). Nghiên cứu này làm tiền đề cho việc xây dựng các quy chuẩn về lựa chọn kích thước hợp lý cho liên kết nối ống thép tròn phù hợp với từng yêu cầu sử dụng trong những điều kiện làm việc khác nhau. Bên cạnh đó nghiên cứu cũng góp phần vào việc xây dựng bộ tiêu chuẩn về thiết kế liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông.

Từ khóa: Ống thép tròn, mặt bích, bulông cường độ cao, uốn cắt đồng thời, cơ chế phá hủy

ĐẶT VẤN ĐỀ

Với nhiều ưu điểm vượt trội nên hiện nay, kết cấu sử dụng ống thép tròn rỗng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong tất cả các loại công trình từ các công trình dân dụng, công nghiệp cho đến các công trình cầu đường và hạ tầng kỹ thuật... Để đáp ứng sự phát triển mạnh mẽ của kết cấu ống thép tròn rỗng đã có rất nhiều nghiên cứu tính toán về liên kết của loại kết cấu này. Tuy nhiên liên kết nối đầu bằng bulông và mặt bích ngoài rất ít được đề cập hoặc nghiên cứu kỹ đa số chỉ nhắc đến tính toán và khảo sát cấu kiện này một cách rất sơ sài hoặc chỉ là thiết kế dựa trên tính toán giống các liên kết của cấu kiện dạng liên kết T-Stub. Nhưng theo quan điểm thiết kế hiện nay cũng như khảo sát qua một số những phá hoại xảy ra ngay trên mỗi nối loại này thì nhận thấy rằng các bulông làm việc hỗ trợ với nhau theo mọi hướng, phân bố ứng suất trong các bulông và mặt bích cũng được phân phối lại, ứng xử của chúng khác khá nhiều so với kiểu T- stub truyền thống.

Ngoài ra các tiêu chuẩn tiên tiến như “Eurocode 3 của Châu Âu hay “AISC 360-10 trong thiết kế kết cấu thép của Mỹ cũng như một số nghiên cứu của các tác giả chỉ đề cập đến những trường hợp chịu lực đơn giản hoặc khảo sát tách biệt (kéo thuần túy, nén thuần túy, uốn thuần túy) mà bỏ qua những khảo sát chịu lực phức tạp, đồng thời như: nén uốn đồng thời, kéo uốn đồng thời, cắt uốn... dẫn đến việc nắm bắt chưa hoàn toàn đúng quy luật ứng xử của loại mối nối đặc biệt này.

Vì vậy, bài báo này sẽ mô phỏng ứng xử của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông chịu uốn cắt đồng thời và kiến nghị tỷ lệ kích thước hợp lý cho đường kính bulông, mặt bích và ống thép.

MỤC TIÊU VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Mục tiêu

- + Mô phỏng được ứng xử của liên kết nối ống thép sử dụng mặt bích và bulông
- + Bằng việc thay đổi các thông số kích thước của liên kết để tìm ra quy luật ứng xử và mối quan hệ giữa các

Trích dẫn bài báo này: Vinh N T, Tuấn L A. **Mô phỏng ứng xử và đánh giá tỷ lệ tiết diện hợp lý của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông chịu uốn cắt đồng thời bằng phân tích FEM.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 2(4):288-305.

đại lượng

+ Đưa ra các tỷ lệ kích thước hợp lý cho liên kết nối ống thép trong các điều kiện chịu lực uốn cắt đồng thời.

Mô hình của Seidel

Seidel¹ đã nghiên cứu và nhận thấy quan hệ giữa ngoại lực và lực dọc trong bulông là quan hệ phi tuyến như **Hình 1**.

- Vùng 1: Chưa xuất hiện biến dạng, ngoại lực tác dụng được giới hạn bởi ứng lực nén trước trong bulông

- Vùng 2: Khe hở bắt đầu phát triển

- Vùng 3: Liên kết hở ra với một độ hở phụ thuộc vào ngoại lực tác dụng

- Vùng 4: Xuất hiện vùng chảy dẻo của bulông và/hoặc bản mã cho đến khi liên kết bị phá hoại.

Mô hình phá hủy do Petersen đề xuất

Petersen¹ đã sử dụng nghiên cứu thực nghiệm về sự phá hủy của liên kết của bulông và bản mã và đã rút ra được kiến nghị: Sự phá hủy của liên kết có thể xảy ra ở bulông, ở bản mã, hoặc xảy ra đồng thời ở bulông và bản mã. Đó được gọi là 3 mô hình phá hủy của Petersen¹ (**Hình 2**).

- *Mô hình phá hủy 1*: Bản mã đủ độ dày, không có biến dạng xuất hiện trong mô hình này. Có nghĩa là lực kéo trong bản mã ảnh hưởng trực tiếp đến bulông, và khi lực dọc trong bulông vượt quá giới hạn cho phép thì liên kết bị phá hoại.

- *Mô hình phá hủy 2*: Lực dọc trong bulông đạt giới hạn cho phép, đồng thời khớp dẻo cũng xuất hiện trong bản mã.

- *Mô hình phá hủy 3*: Bản mã quá mỏng, sự phá hoại xảy ra trong bản mã.

Mô hình đường 3 đoạn của Schmidt-Neuper

(**Hình 3**)

Công thức đánh giá của Schmidt - Neuper² như sau:

$$T_P = \begin{cases} T_v + pT_s & T_s \leq T_{sl} \\ T_v + pT_{sl} + (\lambda T_{sII} - T_v - pT_{sl}) \cdot \frac{T_s - T_{sl}}{T_{sII} - T_{sl}} & (*) \\ \lambda T_s & T_{sII} < T_s \end{cases} \quad (*) T_{sl} < T_s < T_{sII} \quad (1)$$

Trong đó:

$$T_{sl} = T_v \cdot \frac{e-0.5g}{e+g} \quad (2)$$

$$T_{sII} = \frac{T_v}{\lambda q} \quad (3)$$

$$T_v = N_o = 0.75 \cdot \delta_y \cdot A_e \quad (4)$$

$$q = 1 - p$$

$$p = \frac{C_b}{C_b + C_c} \quad (5)$$

$$\lambda = 1 + \frac{g}{0.7e} \quad (6)$$

$$C_b = \frac{\pi E d_s^2}{8 t_F} \quad (7)$$

$$C_c = \frac{1}{\frac{1}{C_f} + \frac{1}{C_w}} \quad (8)$$

$$C_f = \frac{E}{2 t_F} \left\{ \frac{\pi}{4} (d_w^2 + d_h^2) + \frac{\pi}{8} d_w (D_A - d_w) \left[\left(\sqrt{\frac{2 t_F d_w}{D_A^2}} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (9)$$

$$C_w = \frac{\pi E (d_{wo} - d_{wi})}{4 t_w} \quad (10)$$

Các đại lượng:

T_p : Lực dọc trong bulông

T_s : Lực kéo tác dụng vào cấu kiện

N_o : Lực kéo thiết kế của bulông

T_v : Lực kéo ban đầu trong bulông

e : Khoảng cách từ đầu bản mã đến tâm bulông

g : Khoảng cách từ tâm bulông đến tâm bản mã

C_b : Hệ số lò xo kéo của bulông

C_c : Hệ số lò xo nén của bản mã

p : Tỷ số giữa nội lực và ngoại lực

l : Hệ số cân bằng

y : Giới hạn đàn hồi của bulông

A_e : Diện tích tiết diện hiệu quả của mặt bích

C_f : Hệ số lò xo nén của bản mã

C_w : Hệ số lò xo nén của vòng đệm

d_s : Đường kính thân bulông

d_w : Đường kính bề mặt chịu lực ép

d_h : Đường kính lỗ bulông

d_{wo} : Đường kính ngoài của vòng đệm

d_{wi} : Đường kính trong của vòng đệm

t_F : Độ dày của bản dầm

t_w : Độ dày của vòng đệm

E : Modun đàn hồi của thép

D_A : Bước ren của bulông

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ BÌNH LUẬN

Đặc trưng vật liệu sử dụng

(Bảng 1 và Hình 4)

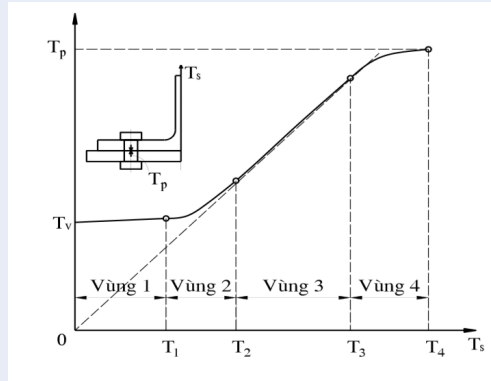
Phương pháp phân tích

Lắp ráp

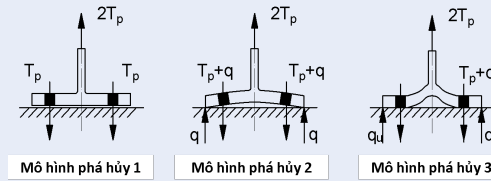
Mô hình phần tử hữu hạn có thể được định nghĩa như một bộ các đối tượng. Việc tổ chức mô hình như vậy phù hợp với các mô hình được tạo ra trong chương trình, đồng thời cho phép tái sử dụng các phần tử đã định nghĩa để tạo một mô hình lớn và phức tạp.

Điều kiện biên

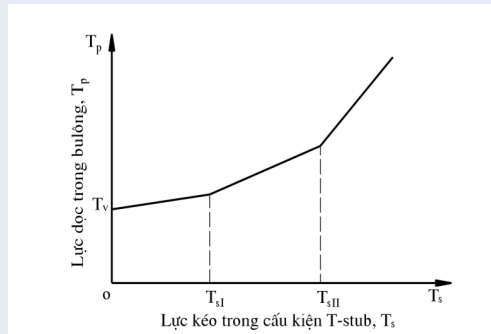
Điều kiện biên được dùng để chỉ các biến cơ bản: chuyển vị thẳng, chuyển vị xoay, nhiệt độ, lực tập trung, lực phân bố...



Hình 1: Quan hệ phi tuyến giữa ngoại lực (T_s) và lực dọc trong bulông (T_p).



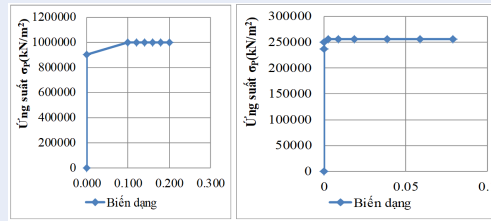
Hình 2: Ba mô hình phá hủy của Petersen.



Hình 3: Biểu đồ quan hệ giữa lực kéo và lực dọc trong bulông do Schmidt - Neuper đề xuất¹.

Bảng 1: Đặc trưng của vật liệu

	Bulông	Ống thép
Vật liệu	F10T bulông cường độ cao	STK400
Khối lượng riêng	7,850 T/m ³	7,850 T/m ³
Giới hạn bền kéo	9x10 ⁵ kN/m ²	2,55x10 ⁵ kN/m ²
Hệ số Poisson	0,3	0,3
Hệ số dẫn nhiệt	0,053 kJ/m.s.oC	-
Độ giãn nở nhiệt	1,2x10 ⁻⁵	-



Hình 4: Đặc trưng của bulông, mặt bích và ống thép.

Ứng lực trước cho bulông

Chúng ta sẽ phân tích trong 2 giai đoạn.

- Giai đoạn 1: Đặt ứng lực trước cho bulông cho đến khi đạt được lực hướng tâm ban đầu bằng phương pháp chuyển vị khi thay đổi nhiệt độ (*Couple temperature-displacement*). Có nghĩa là bulông sẽ không được ứng lực trước thông thường mà được hạ nhiệt độ. Vì các nút hai đầu của bulông gắn liền với các mặt bích nên khi được hạ nhiệt độ, bulông sẽ tự tạo ra một ứng lực trước. Bằng nhiều lần thử nghiệm thì chúng ta có thể làm lạnh bulông cho đến khi bulông đạt được lực hướng tâm ban đầu. Trong bài báo này, lực hướng tâm ban đầu được định nghĩa bằng công thức: $T_v = 0,7 \cdot \delta_y \cdot A_e$.

- Giai đoạn 2: Giữ nguyên lực hướng tâm ban đầu trong bulông và đặt lực kéo T_s cho dầm bằng cách khai báo chuyển vị.

Phương pháp này được dùng để biểu diễn một phân tích nhiệt cơ học. Phân tích nhiệt cơ học là một phép tính toán phi tuyến mà chuyển vị và nhiệt độ tương thích nhau. Theo cách này, hành động tương phản của nhiệt độ dựa trên chuyển vị và chuyển vị dựa trên nhiệt độ có thể được đưa vào tính toán. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên chuyển vị được tính toán dựa vào độ giãn nở vì nhiệt và không có sự truyền nhiệt giữa bulông và các mặt bích.

Hệ số ma sát

Hệ số ma sát được khai báo cho các bề mặt tiếp xúc; các mặt bản thép, các mặt bulông- các mặt bản thép, mặt thân bulông- mặt lỗ. Hệ số ma sát giữa thép-thép là 0,5.

Mô phỏng phần tử dạng chữ L để kiểm chứng

Mô hình

Đặt ứng lực trước cho bulông cho đến khi đạt được lực hướng tâm ban đầu bằng theo công thức: $T_v = 0,7 \cdot \delta_y \cdot A_e = 197,92 \text{ kN}$

Dùng phần mềm Abaqus tạo mô hình bulông (F10T) và mô hình bản thép như Hình 5

Mô hình phần tử hữu hạn dạng chữ L như Hình 6

Kết quả phân tích

Với kết quả phân tích phần tử hữu hạn (Hình 7) thì ta có đường quan hệ giữa lực dọc trong bulông và lực kéo. Từ kết quả phân tích này và so sánh với biểu đồ của Schmidt-Neuper và biểu đồ của Seidel thì chúng có những chỗ uốn cong gần giống nhau. Bước phân tích thứ nhất sẽ đặt lực ứng lực trước $T_v = 197,92 \text{ kN}$ bằng phương pháp nhiệt độ-chuyển vị (*couple temperature-displacement*), bước phân tích thứ hai bắt đầu sau khi lực kéo đạt giá trị bằng lực ứng lực trước trong bulông. Trong giai đoạn đầu, mặc dù lực kéo tăng nhanh nhưng lực dọc trong bulông tăng rất chậm, điều này có nghĩa là lực kéo xảy ra ở đầu dầm được dùng để vượt qua lực ứng lực trước trong bulông.

Trên biểu đồ, các giai đoạn đã biểu diễn được quan hệ giữa lực dọc trong bulông và lực kéo trong cấu kiện theo kiến nghị của Seidel. Chúng ta có thể tìm ra sự giống nhau của kết quả phân tích với biểu đồ Schmidt-Neuper, biểu đồ của Seidel. Như vậy, kết quả phân tích mô hình Abaqus mà tác giả đang sử dụng là đáng tin cậy, từ đây ta có thể tiến hành mô phỏng cho toàn bộ liên kết để phân tích. Các thông số ở Bảng 2 và 3.

Mô phỏng mối nối liên kết đối đầu của ống thép tròn dùng bulông và mặt bích ngoài chịu uốn cắt đồng thời

Các mô hình mô phỏng trong trường hợp chịu uốn cắt đồng thời theo thông số Bảng 4 và Hình 8.

Trường hợp mô phỏng ống nhỏ 114,3x3,5

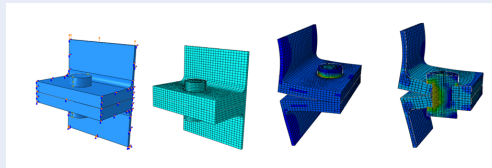
Nhận xét:

- Hình 9: ta thấy ứng với số gia 28, ứng suất trong mặt bích đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong bulông chưa đạt đến giới hạn chảy, do mặt bích quá mỏng (tương ứng với Mô hình phá hủy 3 của Petersen).

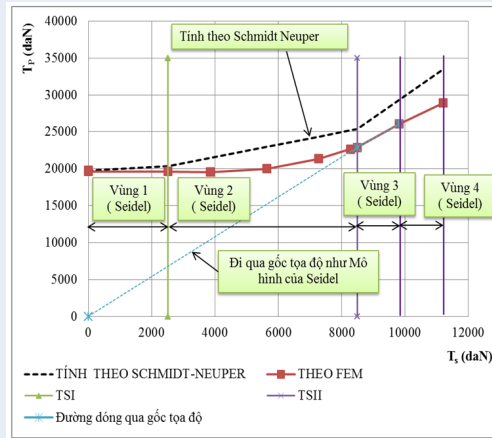
- Hình 10: ta thấy ứng với số gia 28, ứng suất trong bulông đã đạt đến giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích gần đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).



Hình 5: Mô hình bulông và bản thép trong Abaqus.



Hình 6: Mô hình phần tử dạng chữ L trước và sau khi phân tích.



Hình 7: Quan hệ giữa lực dọc T_p trong bulông và lực kéo T_s trong phần tử dạng chữ L².

Bảng 2: Đặc trưng hình dạng của bulông

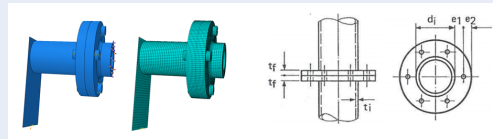
Đặc trưng hình dạng của bulông	Giá trị (mm)
Khoảng cách từ đầu bản mã đến tâm bulông e	30
Khoảng cách từ tâm bulông đến tâm bản mã g	41,75
Đường kính thân bulông d_s	20
Độ dày của bản dầm t_f	16
Đường kính bề mặt chịu lực ép d_w	29
Đường kính lỗ bulông d_h	23
Chiều dài ren D_A	2,5
Đường kính ngoài của vòng đệm d_{wo}	40
Đường kính trong của vòng đệm d_{wi}	21
Độ dày của vòng đệm t_w	4,5

Bảng 3: Hằng số đàn hồi và T_{SI} , T_{SII}

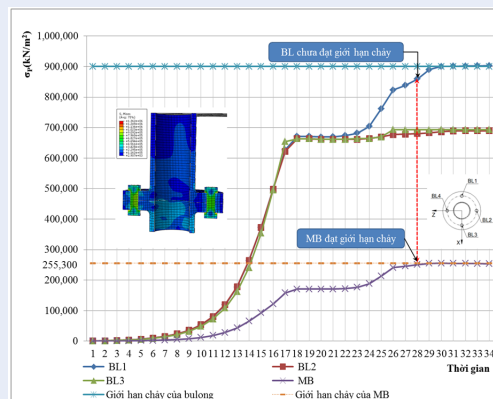
Các đại lượng	Giá trị	Đơn vị
Hệ số cân bằng λ	3	
Hệ số lò xo kéo của bulông C_b	206167	daN/m
Hệ số lò xo nén của bản mã C_f	-6944639	daN/m
Hệ số lò xo nén của vòng đệm C_w	1323134	daN/m
Hệ số lò xo nén của bản mã C_c	731225	daN/m
Tỷ số giữa nội lực và ngoại lực p	0,22	
T_{SI}	2517	daN
T_{SII}	8491 (daN)	

Bảng 4: Bảng kích thước các mẫu ống mô phỏng

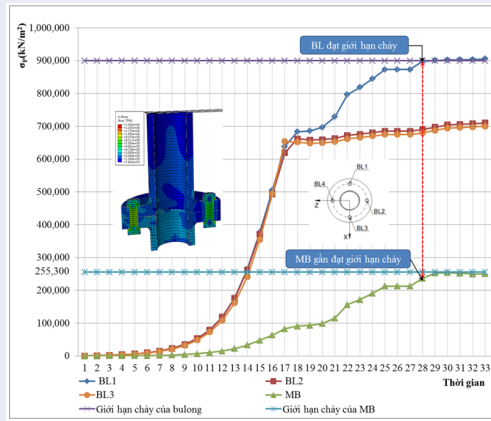
STT	Đường kính ống D_{xt_p} (mm)	Chiều dày mặt bích t_F (mm)	Đ. kính bulông d_s (mm)	Số lượng bulông	e_1 (mm)	e_2 (mm)
1	114,3x3,5	16	20	4	40	30
2	267,4x6,0	25	22	10	40	35
3	406,4x12,7	36	24	26	45	40



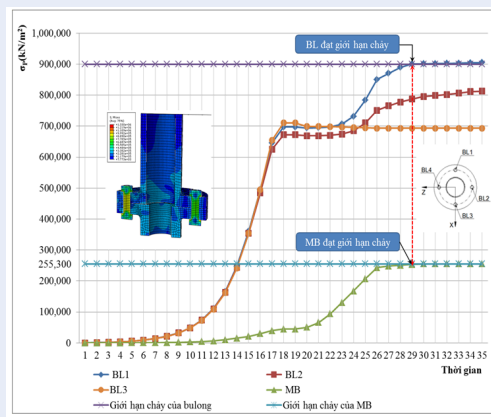
Hình 8: Mô hình ống thép chịu uốn và cắt đồng thời.



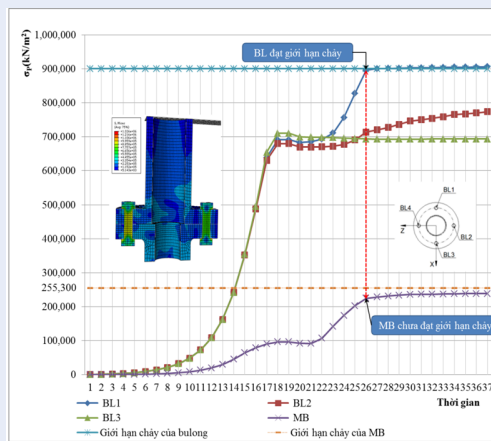
Hình 9: ONHO - Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=20\text{mm}$, $d_s= 20\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,00$)².



Hình 10: ONHO- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=22\text{mm}, d_s=20\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,10$)².



Hình 11: ONHO- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=25\text{mm}, d_s=20\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,25$)²



Hình 12: ONHO- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=28\text{mm}, d_s=20\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,40$)²

- **Hình 11:** ta thấy ứng với số gia 29, ứng suất trong mặt bích và bulông cùng đồng thời đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).

- **Hình 12:** ta thấy ứng với số gia 26, ứng suất trong bulông đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích vẫn chưa đạt đến giới hạn chảy, do mặt bích quá dày (tương ứng với Mô hình phá hủy 1 của Petersen).

Vậy với trường hợp ống nhỏ chịu uốn và cắt đồng thời, để bulông và mặt bích làm việc hợp lý (cùng đồng thời chảy dẻo) thì ta phải chọn tỷ lệ giữa chiều dày mặt bích và đường kính bulông là: $1,00 < t_F/d_s < 1,40$

Bước 2: Sau khi xác định được độ dày bản mã thích hợp để bản mã và bulông cùng chảy dẻo, ta tiến hành mô phỏng các mẫu với việc thay đổi chiều dày thành ống, cố định chiều dày bản mã ($t_F=22\text{mm}$), đường kính bulông ($d_s=20\text{mm}$) và các kích thước $e_1=40\text{mm}$ và $e_2=30\text{mm}$. Với mỗi mẫu ta xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất trong các bulông với bản mã và thành ống trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời, các kết quả thể hiện từ **Hình 13** đến **Hình 16**.

Nhận xét:

- **Hình 13:** Ta thấy ứng với số gia 27, ứng suất trong ống thép đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông vẫn chưa đạt đến giới hạn chảy, do ống thép quá mỏng.

- **Hình 14:** Ta thấy ứng với số gia 30, ứng suất trong ống thép gần đạt giới hạn chảy và ứng suất trong mặt bích và bulông cũng đồng thời đạt đến giới hạn chảy.

- **Hình 15:** Ta thấy ứng với số gia 31, ứng suất trong ống thép chưa đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông đã đạt đến giới hạn chảy, do ống thép quá dày.

- **Hình 16:** Ta thấy ứng với số gia 27, ứng suất trong ống thép chưa đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông đạt đến giới hạn chảy của bulông, do ống thép quá dày.

Vậy ta chọn kích thước giữa chiều dày mặt bích, đường kính bulông và chiều dày ống thép trong trường hợp chịu cắt của ống nhỏ là: $1,25 < t_F/d_s < 1,50$; $0,40 < t_p/d_s < 0,50$.

Trường hợp mô phỏng ống trung 267,4x6,0

Tiến hành tương tự như trường hợp mô phỏng ống nhỏ, ta có:

Bước 1: Mô phỏng các mẫu trên với việc thay đổi chiều dày bản mã, cố định chiều dày thành ống, đường kính bulông các kích thước $e_1=40\text{mm}$ và $e_2=35\text{mm}$. Với mỗi mẫu ta xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất trong các bulông với bản mã trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời, các kết quả thể hiện **Hình 17** đến **Hình 20**.

Nhận xét:

- **Hình 17:** ta thấy ứng với số gia 27, ứng suất trong mặt bích đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong bulông chưa đạt đến giới hạn chảy, do mặt bích quá mỏng (tương ứng với Mô hình phá hủy 3 của Petersen).

- **Hình 18:** ta thấy ứng với số gia 26, ứng suất trong bulông đã đạt đến giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích gần đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).

- **Hình 19:** ta thấy ứng với số gia 26, ứng suất trong mặt bích và bulông cùng đồng thời đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).

- **Hình 20:** ta thấy ứng với số gia 26, ứng suất trong bulông đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích vẫn chưa đạt đến giới hạn chảy, do mặt bích quá dày (tương ứng với Mô hình phá hủy 1 của Petersen).

Vậy với trường hợp ống trung chịu uốn và cắt đồng thời, để bulông và mặt bích làm việc hợp lý (cùng đồng thời chảy dẻo) thì ta phải chọn tỷ lệ giữa chiều dày mặt bích và đường kính bulông là: $1,00 < t_F/d_s < 1,36$.

Bước 2: Sau khi xác định được độ dày bản mã thích hợp để bản mã và bulông cùng chảy dẻo, ta tiến hành mô phỏng các mẫu với việc thay đổi chiều dày thành ống, cố định chiều dày bản mã ($t_F=25\text{mm}$), đường kính bulông ($d_s=22\text{mm}$) và các kích thước $e_1=40\text{mm}$ và $e_2=35\text{mm}$. Với mỗi mẫu ta xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất trong các bulông với bản mã và thành ống trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời, các kết quả thể hiện từ **Hình 21** đến **Hình 24**.

Nhận xét:

- **Hình 21:** Ta thấy ứng với số gia 27, ứng suất trong ống thép đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông vẫn chưa đạt đến giới hạn chảy, do ống thép quá mỏng.

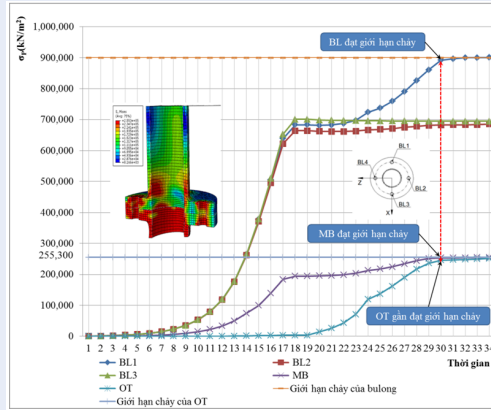
- **Hình 22:** Ta thấy ứng với số gia 29, ứng suất trong ống thép đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông cũng đồng thời đạt đến giới hạn chảy.

- **Hình 23:** Ta thấy ứng với số gia 29, ứng suất trong ống thép gần đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông cũng đồng thời đạt đến giới hạn chảy.

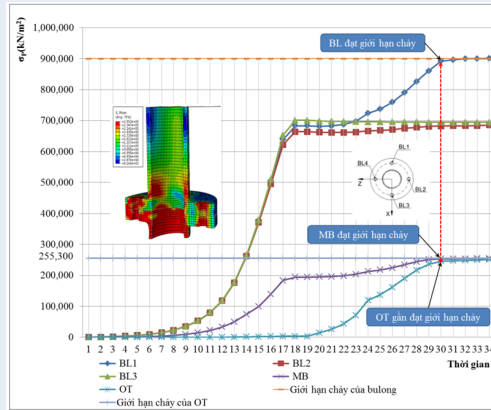
- **Hình 24:** Ta thấy ứng với số gia 27, ứng suất trong ống thép chưa đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông đã đạt đến giới hạn chảy, do ống thép quá dày.

Vậy ta chọn kích thước giữa chiều dày mặt bích, đường kính bulông và chiều dày ống thép trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời của ống trung là:

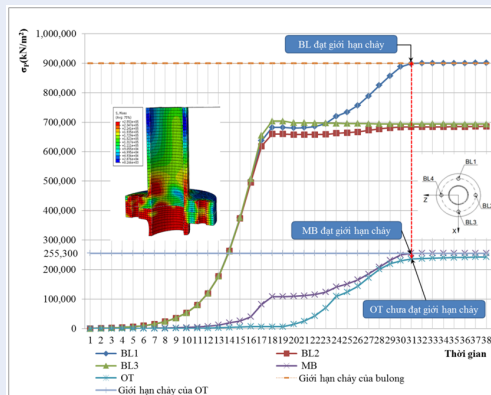
$$1,00 < t_F/d_s < 1,36; 0,45 < t_p/d_s < 0,82$$



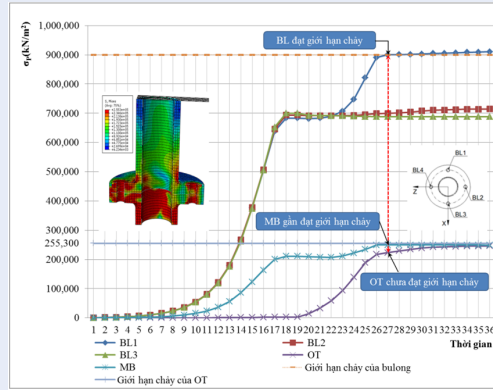
Hình 13: ONHO-Trường hợp uốn cắt đồng thời với $t_F=22\text{mm}, d_s=20\text{mm}, t_p=8\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,40; t_p/d_s=0,40$)²



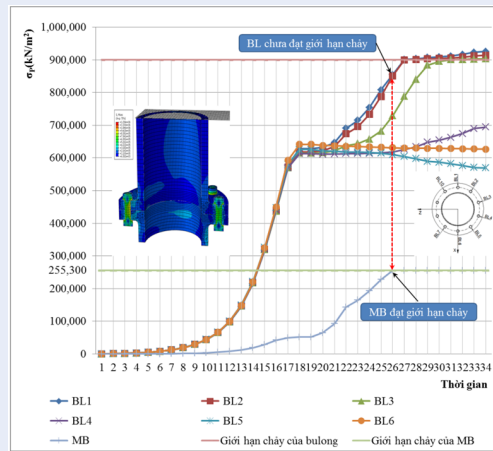
Hình 14: ONHO-Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=10\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,40; t_p/d_s=0,50$)²



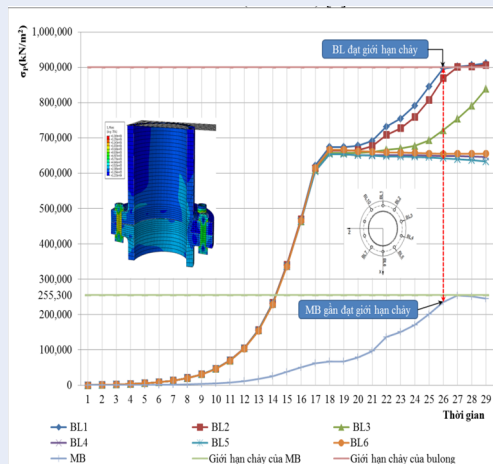
Hình 15: ONHO-Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=12\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,40; t_p/d_s=0,60$)²



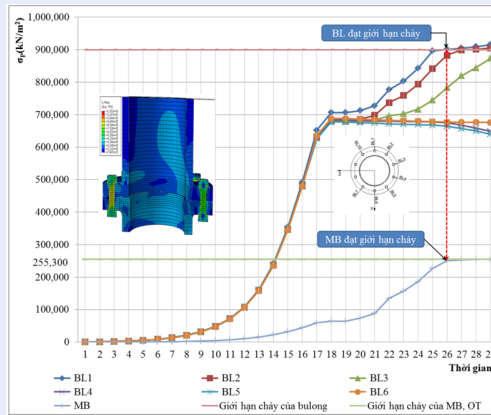
Hình 16: ONHO- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=14\text{mm}$ ($t_F/d_s = 1,40; t_p/d_s = 0,70$)²



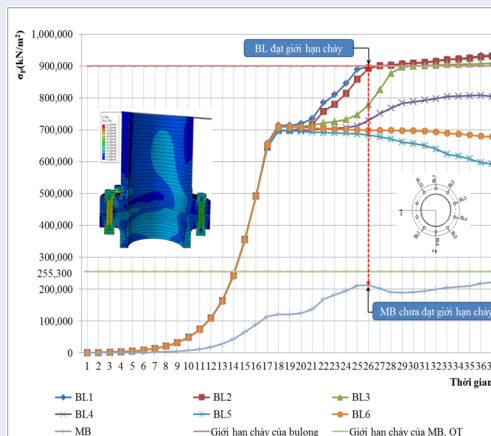
Hình 17: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=22\text{mm}, d_s = 22\text{mm}$ ($t_F/d_s = 1,0$)²



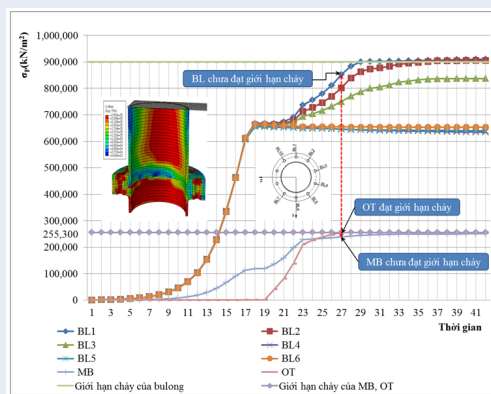
Hình 18: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=25\text{ mm}, d_s = 22\text{ mm}$ ($t_F/d_s = 1,14$)²



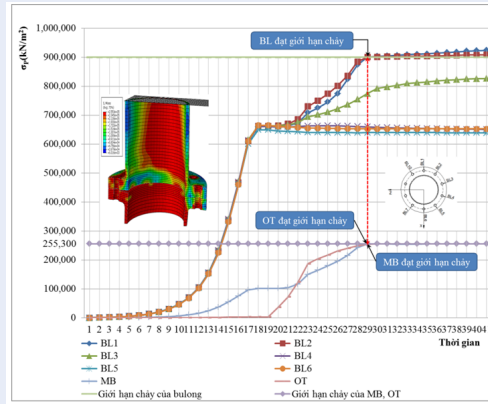
Hình 19: OTRUNG - Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=28$ mm, $d_s=22$ mm ($t_F/d_s=1,27$)²



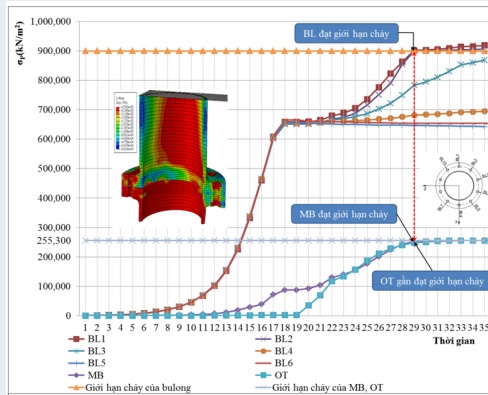
Hình 20: OTRUNG- Trường hợp uốn & cắt đồng thời với $t_F=30$ mm, $d_s=22$ mm ($t_F/d_s=1,36$)²



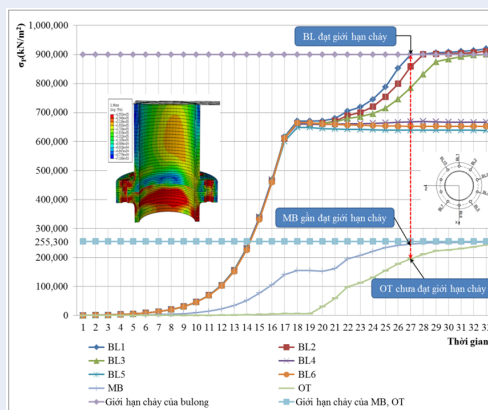
Hình 21: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=25$ mm, $d_s=22$ mm, $t_p=10$ mm ($t_F/d_s=1,14$; $t_p/d_s=0,45$)²



Hình 22: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=12$ mm ($t_F/d_s = 1,14$; $t_p/d_s = 0,55$)²



Hình 23: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=15$ mm ($t_F/d_s = 1,14$; $t_p/d_s = 0,68$)²



Hình 24: OTRUNG- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=18$ mm ($t_F/d_s = 1,14$; $t_p/d_s = 0,82$)²

Trường hợp mô phỏng ống lớn 406,4x12,7

Bước 1: Mô phỏng các mẫu trên với việc thay đổi chiều dày bản mã, cố định chiều dày thành ống, đường kính bulông các kích thước $e_1 = 45\text{mm}$ và $e_2 = 40\text{mm}$. Với mỗi mẫu ta xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất trong các bulông với bản mã trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời, các kết quả thể hiện từ **Hình 25** đến **Hình 29**.

Nhận xét:

- **Hình 25:** Ta thấy ứng với số gia 28, ứng suất trong mặt bích đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong bulông chưa đạt đến giới hạn chảy của bulông, do mặt bích quá mỏng (tương ứng với Mô hình phá hủy 3 của Petersen).

- **Hình 26:** Ta thấy ứng với số gia 33, ứng suất trong mặt bích và bulông cùng đồng thời đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).

- **Hình 27:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong bulông đã đạt đến giới hạn chảy của bulông trong khi đó ứng suất trong mặt bích gần đạt giới hạn chảy (tương ứng với Mô hình phá hủy 2 của Petersen).

- **Hình 28:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong bulông đã đạt đến giới hạn chảy của bulông trong khi đó ứng suất trong mặt bích chưa đạt giới hạn chảy, do mặt bích quá dày (tương ứng với Mô hình phá hủy 1 của Petersen).

- **Hình 29:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong bulông đã đạt đến giới hạn chảy của bulông trong khi đó ứng suất trong mặt bích chưa đạt giới hạn chảy, do mặt bích quá dày (tương ứng với Mô hình phá hủy 1 của Petersen).

Vậy với trường hợp ống lớn chịu uốn và cắt đồng thời, để bulông và mặt bích làm việc hợp lý (cùng đồng thời chảy dẻo) thì ta phải chọn tỷ lệ giữa chiều dày mặt bích và đường kính bulông là: $1,04 < t_F/d_s < 1,42$.

Bước 2: Sau khi xác định được độ dày bản mã thích hợp để bản mã và bulông cùng chảy dẻo, ta tiến hành mô phỏng các mẫu với việc thay đổi chiều dày thành ống, cố định chiều dày bản mã ($t_F = 28\text{mm}$), đường kính bulông ($d_s = 24\text{mm}$) và các kích thước $e_1 = 45\text{mm}$ và $e_2 = 40\text{mm}$. Với mỗi mẫu ta xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất trong các bulông với bản mã và thành ống trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời, các kết quả thể hiện từ **Hình 30** đến **Hình 33**.

Nhận xét:

- **Hình 30:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong ống thép đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông vẫn chưa đạt đến giới hạn chảy của bulông, do ống thép quá mỏng.

- **Hình 31:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong ống thép đã đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông chưa đạt đến giới hạn chảy của bulông, do ống thép quá mỏng.

- **Hình 32:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong ống thép đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và ống thép cũng đồng thời đạt đến giới hạn chảy.

- **Hình 33:** Ta thấy ứng với số gia 32, ứng suất trong ống thép chưa đạt giới hạn chảy trong khi đó ứng suất trong mặt bích và bulông đã đạt đến giới hạn chảy của bulông, do ống thép quá dày.

Vậy ta chọn kích thước giữa chiều dày mặt bích, đường kính bulông và chiều dày ống thép trong trường hợp chịu uốn và cắt đồng thời của ống lớn là:

$$1,04 < t_F/d_s < 1,42; 0,83 \leq t_p/d_s < 1,04$$

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ các kết quả mô phỏng trên ta thấy rằng đối với trường hợp liên kết chịu uốn cắt đồng thời, khi thiết kế liên kết nên chọn tỉ lệ đường kính bulông (d_s), chiều dày mặt bích (t_F) và chiều dày ống thép (t_p) như sau:

- Đối với những ống vừa và nhỏ: dùng bulông có đường kính $d_s \leq 22\text{mm}$ nên chọn tỉ lệ kích thước:

$$1,00 < t_F/d_s < 1,36; 0,45 \leq t_p/d_s \leq 0,6$$

- Đối với ống lớn: dùng bulông có đường kính $d_s \geq 24\text{mm}$ nên chọn tỉ lệ kích thước:

$$1,04 < t_F/d_s < 1,42; 0,83 \leq t_p/d_s \leq 1,04$$

Từ việc nghiên cứu trên, tác giả kiến nghị mở rộng thêm các hướng nghiên cứu:

- + Nghiên cứu mô phỏng liên kết trong trường hợp chịu lực phức tạp kéo (nén) uốn và xoắn đồng thời;
- + Kết hợp thí nghiệm để kiểm chứng quá trình mô phỏng và rút ra quy trình tính toán cụ thể cho liên kết trong điều kiện chịu lực phức tạp.

KẾT LUẬN

Các mô phỏng với phần mềm Abaqus đã cho ta thấy rõ được ứng xử của các bulông và mặt bích trong liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông trong trường hợp chịu uốn cắt đồng thời. Từ đó giúp cho người thiết kế hiểu rõ hơn về liên kết và thiết kế an toàn hơn.

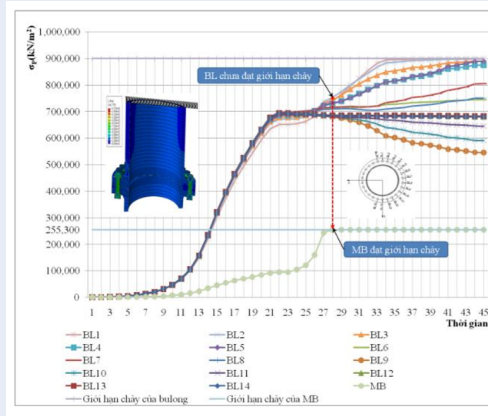
Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy rằng khi thiết kế liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulông trong trường hợp chịu uốn cắt đồng thời nên chọn tỉ lệ đường kính bulông (d_s), chiều dày mặt bích (t_F) và chiều dày ống thép (t_p) như sau:

- Đối với những ống vừa và nhỏ: dùng bulông có đường kính $d_s \leq 22\text{mm}$ nên chọn tỉ lệ kích thước:

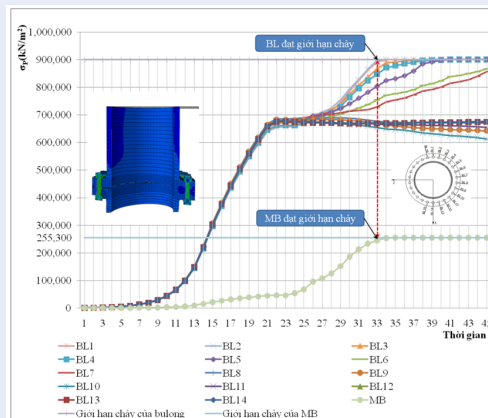
$$1,00 < t_F/d_s < 1,36; 0,45 \leq t_p/d_s \leq 0,6$$

- Đối với ống lớn: dùng bulông có đường kính $d_s \geq 24\text{mm}$ nên chọn tỉ lệ kích thước:

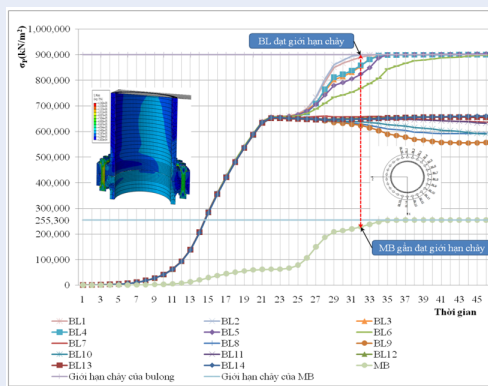
$$1,04 < t_F/d_s < 1,42; 0,83 \leq t_p/d_s \leq 1,04$$



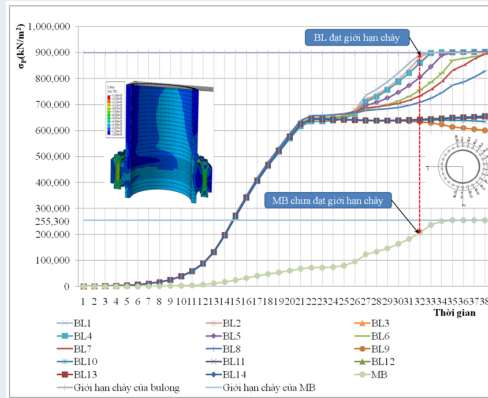
Hình 25: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=25\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,04$)²



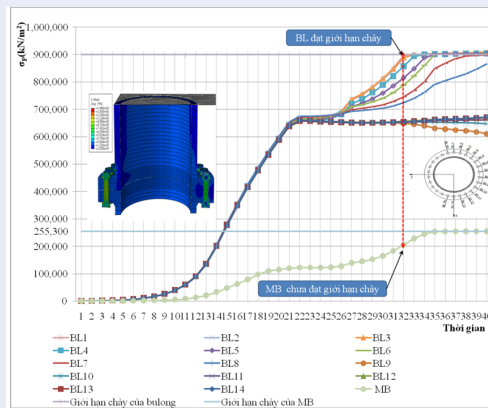
Hình 26: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=28\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,17$)²



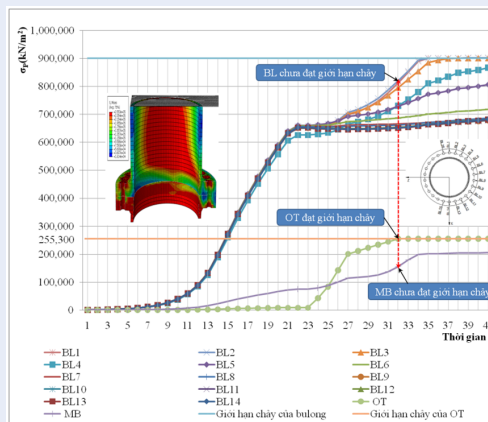
Hình 27: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=30\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,25$)²



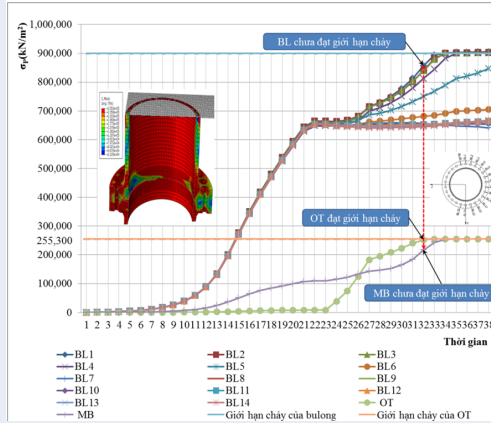
Hình 28: OLON-Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=34\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,42$)²



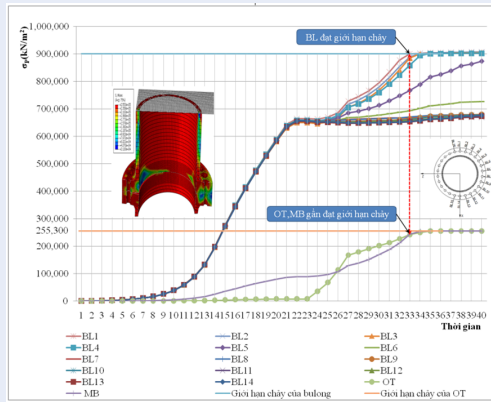
Hình 29: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=36\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,50$)²



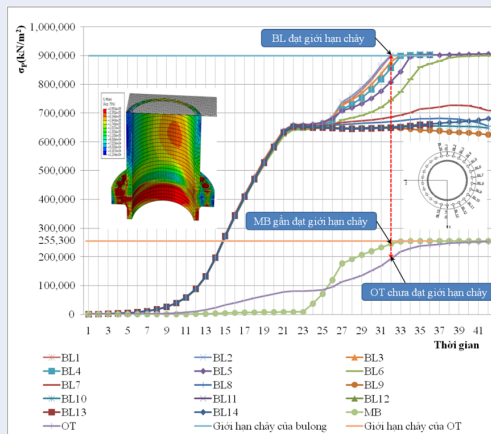
Hình 30: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_F=28\text{mm}$, $d_s=24\text{mm}$, $t_p=18\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,17$; $t_p/d_s=0,75$)²



Hình 31: OLON-Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=20\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,17$; $t_p/d_s=0,83$)²



Hình 32: OLON- Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=22\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,17$; $t_p/d_s=0,92$)²



Hình 33: OLON-Trường hợp uốn và cắt đồng thời với $t_p=25\text{mm}$ ($t_F/d_s=1,17$; $t_p/d_s=1,04$)²

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

FEM: Finite element Method, phương pháp phần tử hữu hạn

T-Stub: liên kết hình chữ T

AISC 360-10:

ONHO: Ống thép tròn nhỏ có đường kính ống $D=114,3$ mm, gọi là tất ống nhỏ

OTRUNG: Ống thép tròn trung có đường kính ống $D=267,4$ mm, gọi là tất ống trung

OLON: Ống thép tròn lớn có đường kính ống $D=406,4$ mm

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Lê Anh Tuấn tổng hợp các kết quả nghiên cứu, đề xuất phương án nghiên cứu.

Nguyễn Trọng Vinh thực hiện mô phỏng các liên kết khác nhau, xuất ra kết quả và đánh giá kết quả rút ra

kết luận.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này là một phần sản phẩm nghiên cứu trong Đề tài cấp Bộ của tác giả Lê Anh Tuấn (B2017.DNA.15).

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Bộ Giáo dục và Đào tạo, Đại học Đà Nẵng, Ban Khoa học công nghệ và môi trường, Trường đại học Bách Khoa đã tạo điều kiện nghiên cứu và hỗ trợ kinh phí để giúp tác giả có thể cho ra những sản phẩm nghiên cứu có chất lượng và hoàn thành tốt đề tài nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Le AT. Simple formula for evaluating variable stiffness of wind-turbine tower with consideration of flange- joint separation. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2015;5(10):293–302.
2. Nguyen TV. Mô phỏng ứng xử của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bu lông chịu uốn và cắt đồng thời có xét đến sự làm việc phi tuyến của vật liệu, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Trung tâm học liệu Đại học Đà Nẵng. 2017;.

Simulating behavior and evaluating rational parameters of the tubular steel joint using flanges and bolts by FEM analysis

Nguyen Trong Vinh^{1,*}, Le Anh Tuan²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Architecture, Hue University of Sciences, University of Hue, 77 Nguyen Hue Street, Hue City, Thua Thien Hue Province, Vietnam

²Department of Civil Engineering, University of Science and Technology (DUT) – The University of Danang (UD), 54 Nguyen Luong Bang Street, Danang City, Vietnam

Correspondence

Nguyen Trong Vinh, Faculty of Architecture, Hue University of Sciences, University of Hue, 77 Nguyen Hue Street, Hue City, Thua Thien Hue Province, Vietnam

Email: vinhx1b@gmail.com

History

- Received: 03/1/2018
- Accepted: 20/12/2018
- Published: 31/12/2019

DOI : 10.32508/stdjet.v2i4.714



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

With many advantages, nowadays, the structure using tubular steel structure is more and more widely used in all kinds of construction. In response to the rapid development of the tubular steel structure, it has been had a lot of research about the joints of this structure. Welding joints and joints using flanges and bolts are used most popular in the tubular structure. However, most of the research concentrate about welding joints, the joints using flanges and bolts are only mentioned in the case of simple load-bearing such as tension or compression or bending without computational instructions in the case of complex bearing forces (concurrent shear force and bending or concurrent tension/compression and bending or tension/compression and twisting). The research using FEM analysis for joint of steel tubular with different sizes (small size, medium-size, and large size) and parameters of the thickness of the flange, bolt's diameter, the thickness of steel tube that rule of the relation between them. The study outlines the behavior for joints of tubular structure using flanges and bolts in the case of concurrent shear force and bending, thereby proposing the rational parameters of the joint (the relationship between the thickness of the flange, the diameter of the bolt and thickness of steel tubes). Base on the results of this research, the standard for choosing a suitable joint of steel tubular in different conditions. Besides that, the research's results are also one of the important parts in conducting the standard of design joint of steel tubular.

Key words: tubular steel, flanges, high strength bolt, concurrent shear force and bending, mechanisms of destruction

Cite this article : Trong Vinh N, Anh Tuan L. **Simulating behavior and evaluating rational parameters of the tubular steel joint using flanges and bolts by FEM analysis** . *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2(4):288-305.