

Nghiên cứu tỷ lệ kích thước chiều dày mặt bích, chiều dày thành ống và đường kính bulong trong liên kết ống thép tròn công trình tháp trụ ở Việt Nam chịu tác động xoắn

Study on the ratio of three dimensions of the flange thickness, pipe wall thickness and bolt diameter in round steel pipe connections in torsion-bearing tower and pier structures in Vietnam

Trình Hồng Vi^{1*}

¹Khoa Kỹ thuật - Nông Nghiệp, Phân hiệu Đại học Đà Nẵng tại Kon Tum, Việt Nam

*Tác giả liên hệ, Email: thvi@kontum.udn.vn

THÔNG TIN

DOI:10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.17.1.1893.2022

Ngày nhận: 25/05/2021

Ngày nhận lại: 18/08/2021

Duyệt đăng: 25/08/2021

Từ khóa:

kết cấu tháp và trụ; liên kết ống thép tròn; ổn định kết cấu; tác động xoắn

Keywords:

tower and pier structure; round steel pipe connection; structural stability; torsion force

TÓM TẮT

Đối với kết cấu tháp, trụ yếu tố quan trọng là phải tính toán kiểm tra ổn định. Kết cấu mất ổn định do xoắn là phức tạp và đặc trưng nhất với kết cấu này. Ngoài các giải pháp cấu tạo vách cứng ngang và xiên theo chiều cao. Chúng ta cần quan tâm vị trí liên kết các ống thép biên tại các đốt. Thực tế cho thấy các trường hợp công trình khi bị mất ổn định thường xảy ra phá hoại tại mối nối liên kết này.

Bài báo nhằm đưa ra kiến nghị về tỷ lệ của ba thông số chiều dày mặt bích, chiều dày thành ống và đường kính bulong trong liên kết ống thép tròn với các công trình tháp, trụ sử dụng thanh biên là ống thép tròn ở Việt Nam chịu tác động xoắn để giúp tối ưu hóa việc lựa chọn kích thước tiết diện khi thiết kế các công trình tháp trụ bằng kết cấu thép. Đảm bảo về mặt chịu lực của kết cấu và tính kinh tế khi thiết kế công trình.

ABSTRACT

For tower and pier structures, it is important to calculate and check the stability. Torsional instability is the most complex and typical with this structure. In addition to the solutions of horizontal and diagonal rigid wall arrangement in height, the position of connecting side steel pipes at the connection joints should be considered. In fact, in cases where the structure is unstable, failure often occurs at the connection joints.

This paper aims to make recommendations on the ratio of three dimensions of flange thickness, pipe wall thickness and bolt diameter in round steel pipe connections in tower and pier structures in Vietnam using round steel pipes as torsion-bearing side bars to help optimize size selection when designing steel structure towers and piers. In addition, the bearing capacity of the structure and the economy are still guaranteed.

1. Giới thiệu

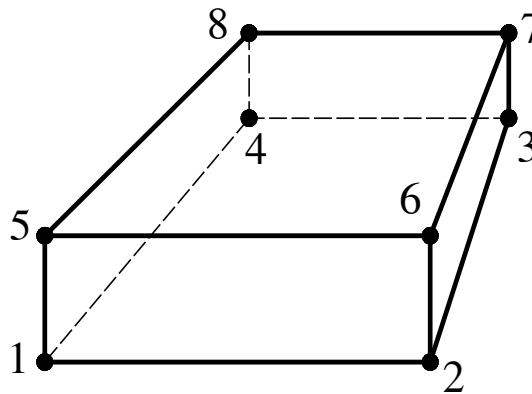
Trong Tiêu Chuẩn Quốc gia - TCVN 5575-2012 (2012) Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế hay ngay cả ANSI/AISC 360-16 Specification for Structure Steel Buildings và Eurocode 3: Design of steel structures Part 1-1: General rules and rules for buildings vẫn chưa đưa ra khuyến nghị cho tỷ lệ của ba thông số kích thước (Chiều dày mặt bích, chiều dày thành ống, đường kính bulong) trong liên kết ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulong khi công trình chịu tác động xoắn. Bài báo nhằm giúp cho kỹ sư thiết kế lựa chọn thông số ban đầu hợp lý cho phân tích và tính toán kết cấu thép dạng tháp, trụ. Để đảm bảo an toàn, tối ưu hóa kết cấu, tiết kiệm vật liệu và thời gian trong công tác phân tích và kiểm tra công trình.

Qua một số nghiên cứu trước đây của một số tác giả (N. T. A. Nguyen, 2016; V. T. Nguyen, 2017; Phan, 2017). Thì ta thấy cũng chỉ dừng lại việc đề xuất các tỷ số kích thước cho trường hợp chịu kéo, uốn, cắt. Ngay cả tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép (AISC Organization, 2016) cũng chưa đề cập nhiều đến tính toán và thiết kế liên kết mặt bích dùng ống thép tròn khi chịu xoắn.

Vì vậy, nghiên cứu này đánh giá tác động của tải trọng xoắn. Từ đó đưa ra mối quan hệ kích thước của chiều dày mặt bích, chiều dày thành ống, đường kính bulong.

2. Cơ sở lý thuyết

Để nghiên cứu sự làm việc và cơ chế phá hoại của liên kết ống thép tròn, tác giả sử dụng phần mềm Abaqus là một trong những bộ phần mềm lớn rất hữu hiệu trong việc mô phỏng kết cấu công trình thông qua phương pháp phần tử hữu hạn. Tập hợp các phần tử bulong, ống thép, mặt bích là những phần tử dạng khối 08 nút.



Hình 1. Phần tử 08 nút

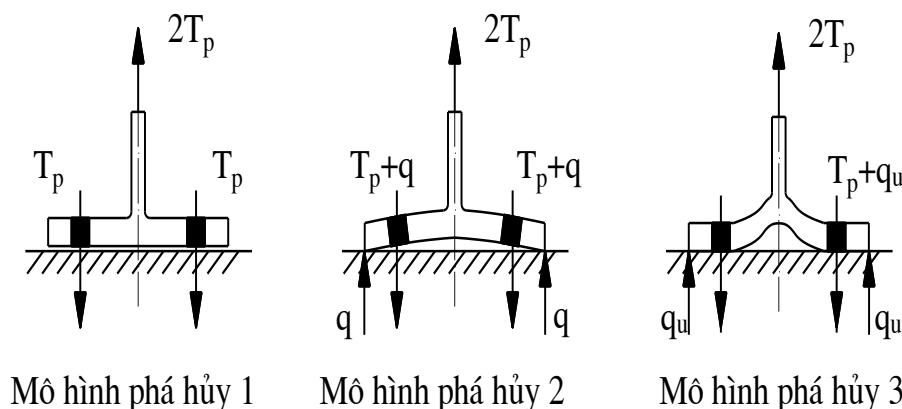
Phần tử khối gồm phần tử nội suy bậc một và phần tử nội suy bậc hai. Trong bài báo này sử dụng phần tử bậc hai.

Đồng thời, để đánh giá tính chính xác mô hình liên kết trong phần mềm tác giả sử dụng mô hình đường ba đoạn của Schmitd-Neuper và sử dụng cơ chế phá hoại đồng thời theo mô hình phá hủy 2 của Pettersen.

2.1. Mối tương quan giữa lực dọc trong bulong và chiều dày mặt bích liên kết theo mô hình phá hủy do Petersen đề xuất

Petersen (2005) dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm và đưa ra được kiến nghị sau:

Sự phá hủy của liên kết thì có thể xảy ra ở bulong, ở chiều dày mặt bích, hoặc xảy ra đồng thời ở bulong và chiều dày mặt bích. Đó được gọi là 03 mô hình phá hủy của Petersen.



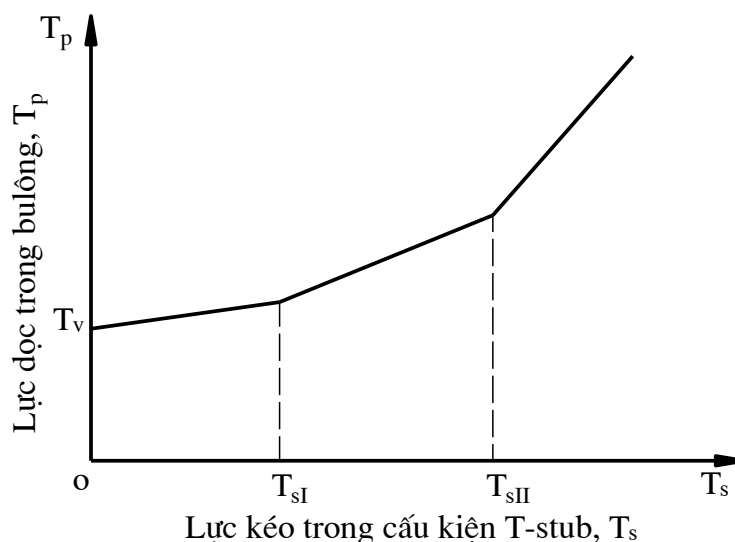
Hình 2. Ba mô hình phá hủy của Petersen

Mô hình phá hủy 1: chiều dày mặt bích đủ dày, không có biến dạng xuất hiện trong mô hình này. Có nghĩa là lực kéo trong mặt bích ảnh hưởng trực tiếp đến bulong và khi lực dọc trong bulong vượt quá giới hạn cho phép thì liên kết bị phá hoại.

Mô hình phá hủy 2: Lực kéo trong bulong đạt giới hạn cho phép, đồng thời khớp dẹo cũng xuất hiện trong mặt bích.

Mô hình phá hủy 3: Mặt bích quá mỏng, sự phá hoại xảy ra trong mặt bích.

2.2. *Mối quan hệ giữa lực kéo trong cấu kiện và lực kéo trong bulong theo mô hình đường 03 đoạn của Schmidt-Neuper*



Hình 3. Biểu đồ quan hệ giữa lực kéo và lực dọc trong bulong do Schmidt-Neuper

Công thức đánh giá của Schmidt-Neuper như sau:

$$T_p = \begin{cases} T_v + pT_s \\ T_v + pT_{sI} + (\lambda T_{sII} - T_v - pT_{sI}) \cdot \frac{T_s - T_{sI}}{T_{sII} - T_{sI}} \\ \lambda T_s \end{cases} \quad (1)$$

$$T_s \leq T_{sI}; T_{sI} < T_s < T_{sII}; T_s < T_{sII}$$

Trong đó:

$$T_{sI} = T_v \cdot \frac{e-0,5g}{e+g} \quad T_{sII} = \frac{T_v}{\lambda q}$$

$$T_v = N_o = 0,75 \cdot \sigma_y \cdot A_e; q = 1 - p$$

$$p = \frac{C_b}{C_b + C_c}$$

$$\lambda = 1 + \frac{g}{0,7e}$$

$$C_b = \frac{\pi \cdot E \cdot d_s^2}{8t_F}$$

$$C_c = \frac{1}{\frac{1}{C_f} + \frac{2}{C_w}}$$

$$C_f = \frac{E}{2t_F} \left\{ \frac{\pi}{4} (d_w^2 + d_h^2) + \frac{\pi}{8} d_w (D_A - d_w) \left[\left(\sqrt[3]{\frac{2t_F \cdot d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] \right\}$$

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

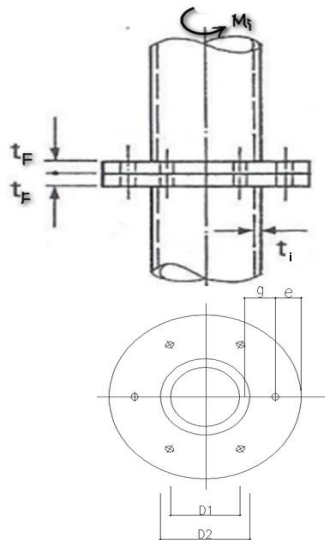
Các đại lượng:

- T_p : Lực dọc trong bulong;
- T_s : Lực kéo tác dụng vào cấu kiện;
- N_o : Lực kéo thiết kế của bulong;
- T_v : Lực kéo ban đầu trong bulong;
- e : Khoảng cách từ đầu bản mã đến tâm bulong;
- g : Khoảng cách từ tâm bulong đến tâm bản mã;
- C_b : Hệ số lò xo kéo của bulong;
- T_c : Hệ số lò xo nén của bản mã;
- p : Tỷ số giữa nội lực và ngoại lực;
- λ : Hệ số cân bằng;
- σ_y : Giới hạn đàn hồi của bulong;
- 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 bulong;
- d_w : Đường kính bề mặt chịu lực ép;
- d_h : Đường kính lỗ bulong;
- d_{w0} : Đường kính ngoài của vòng đệm;
- d_{wi} : Đường kính trong của vòng đệm;
- t_f : Độ dày của mặt bích;
- t_i : Độ dày của vòng đệm;
- E : Modun đàn hồi của thép;
- D_A : Bước ren của bulong;
- D_1 : Đường kính trong ống thép;
- D_2 : Đường kính ngoài ống thép.

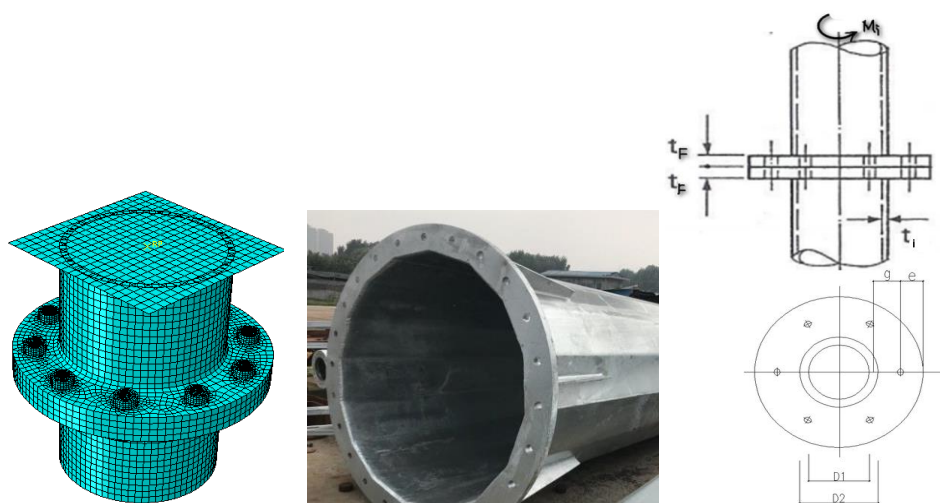
3. Mô hình nghiên cứu

Khi thiết kế các công trình tháp, trụ bằng kết cấu thép thì việc lựa chọn hình dạng tiết diện các thanh là quan trọng. Nhằm hạn chế các yếu tố bất lợi do tác động của tải trọng lên tổng thể kết cấu, cũng như có đặc tính độ cứng chống uốn, xoắn theo các phương như nhau thì tiết diện ống thép hình tròn là tiết diện tương đối hợp lý khi sử dụng cho các thanh biên/thanh chính trong các kết cấu loại này. Vì thế, trong phạm vi nghiên cứu này sẽ lựa chọn ống thép tròn đường kính lớn liên kết bằng mặt bích và bulong.



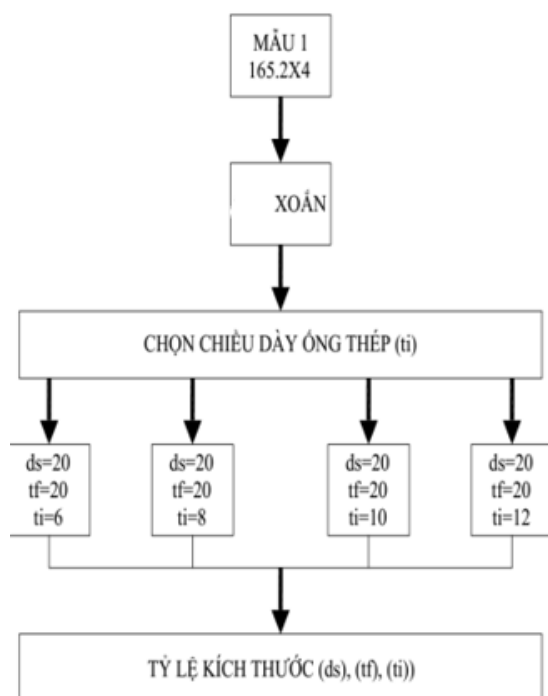
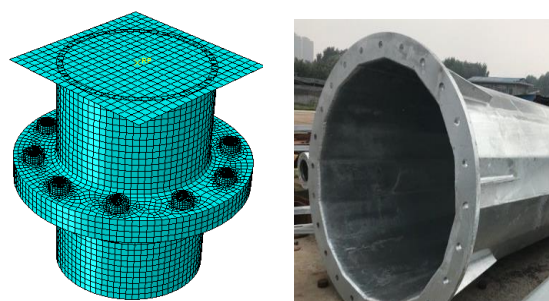
Hình 4. Liên kết ống thép tròn

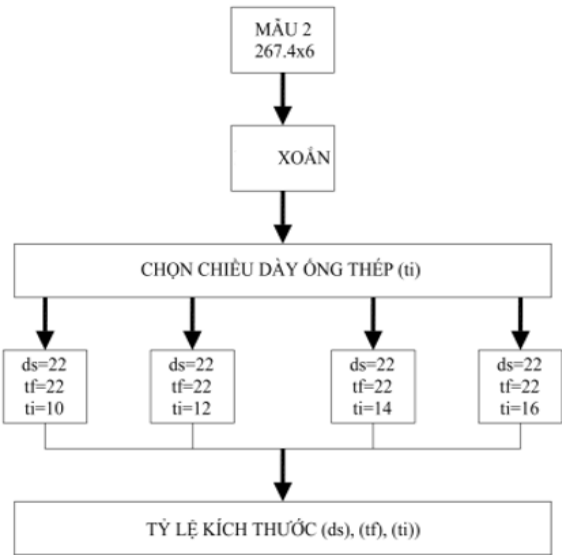
Nghiên cứu sẽ thực hiện trên 02 mẫu ống thép có đường kính khác nhau và được sử dụng tương đối phổ biến trong kết cấu tháp, trụ ở Việt Nam.



Hình 5. Liên kết ống thép tròn

Nghiên cứu sẽ thực hiện trên 02 mẫu ống thép có đường kính khác nhau và được sử dụng tương đối phổ biến trong kết cấu tháp, trụ ở Việt Nam.





Hình 6. Mô hình kích thước mẫu

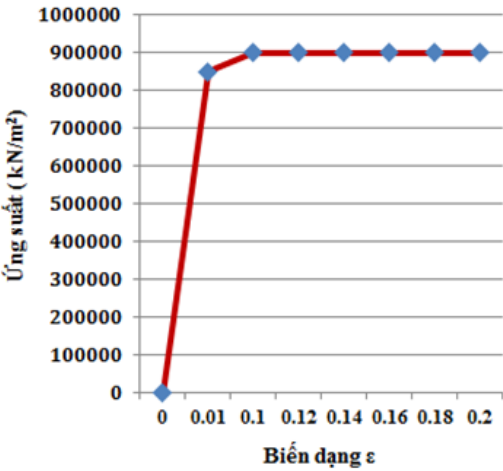
Sử dụng vật liệu đàn hồi - dẻo.

Bảng 1

Đặc trưng vật liệu bulong

Vật liệu	M20, F10T bulong cường độ cao
Trọng lượng riêng	$7,850\ T / m^3 = 7,850\ kg / m^3$
Giới hạn bền kéo	$9 \times 10^5\ kN / m^2 = 90\ daN / mm^2$
Hệ số Poisson	0.3
Hệ số dẫn nhiệt	$0.053\ kJ / m.s.^{\circ}C$
Độ giãn nở nhiệt	1.2×10^{-5}

Nguồn: KOUEI (n.d.)



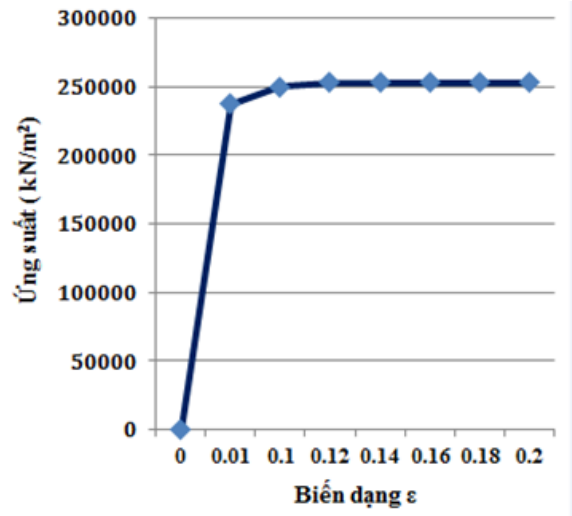
Hình 7. Đặc trưng vật liệu bulong

Bảng 2

Đặc trưng vật liệu ống thép và mặt bích

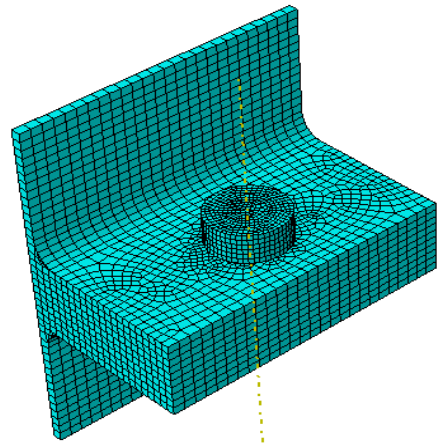
Vật liệu	SM400
Trọng lượng riêng	$7,850\ T / m^3 = 7,850\ kg / m^3$
Giới hạn bền kéo	$2.55 \times 10^5\ kN / m^2$ $= 25.5\ kN / m^2$
Hệ số Poisson	0.3
Hệ số dẫn nhiệt	$0.053\ kJ / m.s.^{\circ}C$
Độ giãn nở nhiệt	1.2×10^{-5}

Nguồn: An Gia Vu JSC (n.d.)

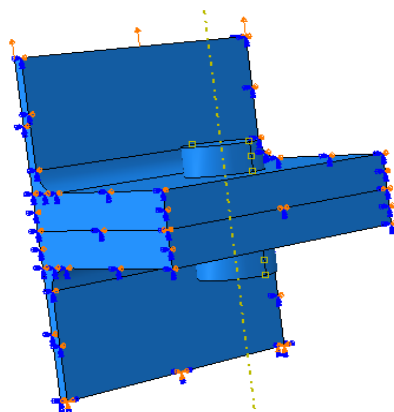


Hình 8. Đặc trưng vật liệu ống thép và mặt bích

Để kiểm chứng mô hình tổng thể liên kết ống thép. Nghiên cứu mô phỏng một phần tử L tách ra từ mô hình tổng thể dưới sự tác dụng của lực kéo. Đối chứng với mô hình lực kéo trong cấu kiện theo kiến nghị của Seidel, và mô hình phá hủy 2 của Pertersen.



Hình 9. Mô hình chữ L

**Hình 10.** Điều kiện biên của cầu kiện

Ứng lực cho bulong sẽ thông qua 02 giai đoạn :

Giai đoạn 1: Đặt ứng lực trước cho bulong 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 bulong sẽ không được ứng lực trước thông thường mà được hạ nhiệt độ. Vì các nút hai đầu của bulong gắn liền với các mặt bích, nên khi được hạ nhiệt độ, bulong sẽ tự tạo ra một ứng lực trước. Trong nghiên cứu, lực hướng tâm ban đầu được định nghĩa bằng công thức:

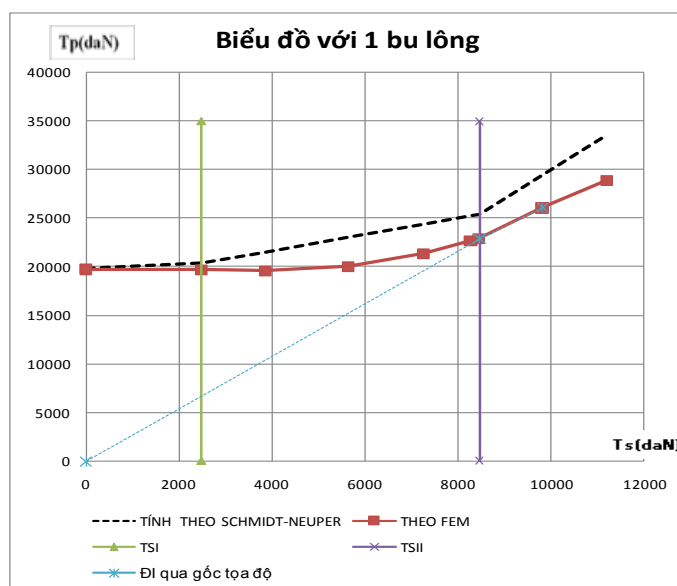
$$T_v = 0.7 \times \sigma_y \times A_e = 19,729 daN \quad (2)$$

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

Trong bài báo, sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên chuyển vị được tính toán dựa vào độ giãn nở vì nhiệt. Không có sự truyền nhiệt giữa bulong và các bản thép.

Hệ số ma sát được khai báo cho các bề mặt tiếp xúc giữa các mặt bích, mặt bulong với mặt bích, mặt thân bulong và mặt lỗ là 0.5.

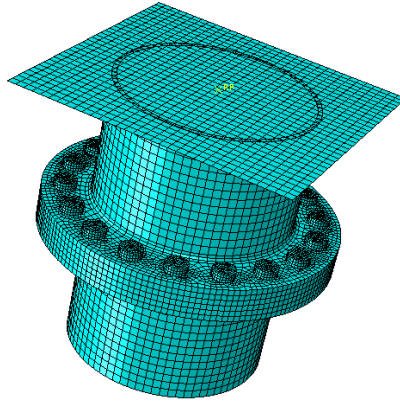
Kết quả phân tích :

**Hình 11.** Tương quan giữa lực dọc T_p trong bu lông và lực kéo T_s đối chứng với biểu đồ của Schmidt-Neuper

Với mô hình trong nghiên cứu, tính được $T_{sl} = 2,474daN$ và $T_{sl} = 8,457daN$

Kết quả mô hình chữ L đã biểu diễn được mối tương quan giữa lực dọc trong bu lông và lực kéo trong cầu kiện theo kiến nghị của Seidel, và mô hình phá hủy 2 của Pertersen.

Để tạo xoắn thuần túy trong mô phỏng, nghiên cứu gán một tấm tuyệt đối cứng lên một mặt ống. Dùng điều kiện biên ràng buộc các chuyển vị thẳng và xoay ở đầu đối diện, còn tấm cứng sẽ gán một góc xoay xung quanh trục ống thép.



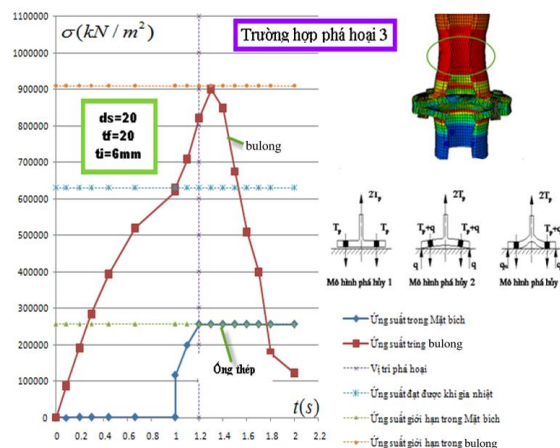
Hình 12. Mô hình bài toán xoắn thuần túy

4. Kết quả nghiên cứu

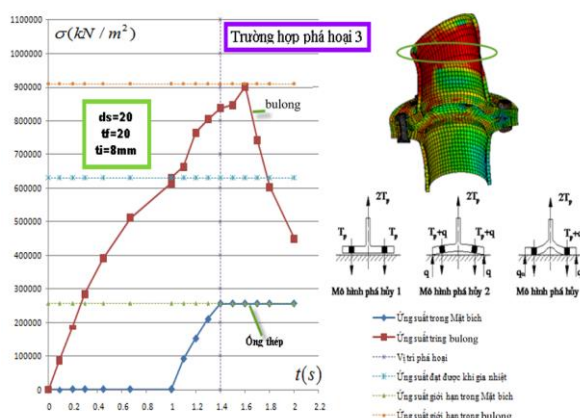
4.1. Kết quả phân tích mẫu 1

Chúng ta đưa ra thông số 04 mô hình sau:

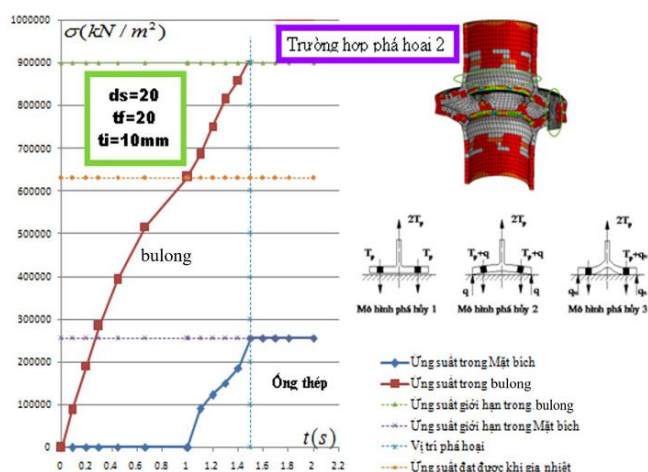
- + Trường hợp 1: $e = 30mm$, $t_f = 20mm$, $d_s = 20mm$, $t_i = 6mm$ ($t_f/d_s = 1$; $t_i/d_s = 0.3$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.5$;
- + Trường hợp 2: $e = 30mm$, $t_f = 20mm$, $d_s = 20mm$, $t_i = 8mm$ ($t_f/d_s = 1$; $t_i/d_s = 0.4$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.5$;
- + Trường hợp 3: $e = 30mm$, $t_f = 20mm$, $d_s = 20mm$, $t_i = 10mm$ ($t_f/d_s = 1$; $t_i/d_s = 0.5$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.5$;
- + Trường hợp 4: $e = 30mm$, $t_f = 20mm$, $d_s = 20mm$, $t_i = 12mm$ ($t_f/d_s = 1$; $t_i/d_s = 0.6$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.5$).



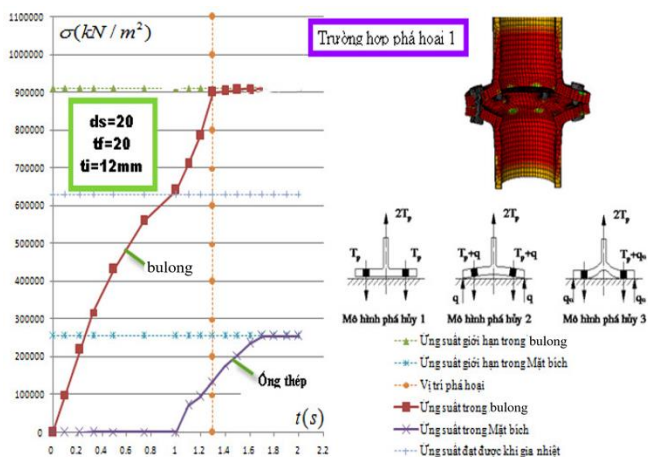
Hình 13. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH1



Hình 14. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH2



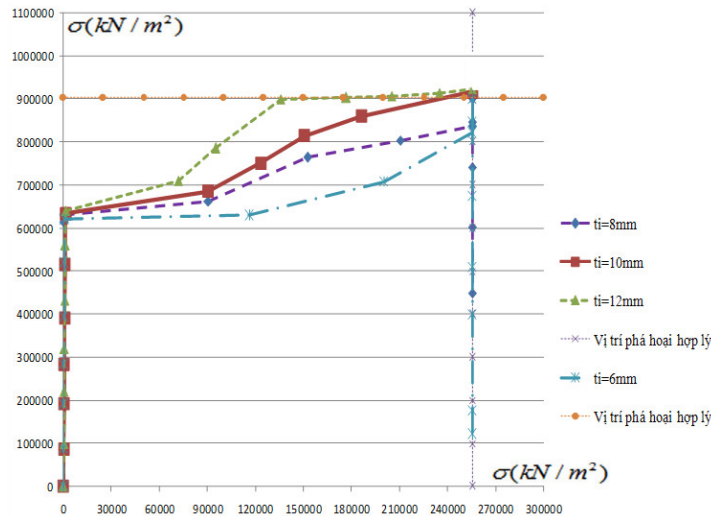
Hình 15. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH3



Hình 16. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH4

Từ kết quả phân tích 04 mô hình ta thấy trường hợp số 03 (với tỉ số $t_f/d_s = 1$; $t_i/d_s = 0.5$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.5$) (Hình 15) là trường hợp khi ứng suất bulong đạt được khi gia nhiệt thì ứng suất trong ống thép cũng đạt tới trạng thái giới hạn chảy (Mô hình phá hủy 2 của của Petersen).

Với số liệu 04 trường hợp trên ta có biểu đồ 04 đường: Trục tung là ứng suất trong bulong; Trục hoành là ứng suất trong mặt bích.



Hình 17. Biểu đồ Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong 04 trường hợp

Kết luận: Với trường hợp ống thép 165.2 x 4 chịu xoắn:

Với tỷ lệ kích thước: ($0.8 < tF/ds < 1.25$; $0.3 \leq ti/ds \leq 0.6$; $(e1 + e2)/tF = 3.5$) thì sự phá hoại là hợp lý nhất vì ống thép, mặt bích và bulong cùng đạt đến trạng thái giới hạn chảy theo mô hình phá hủy 2 của của Petersen.

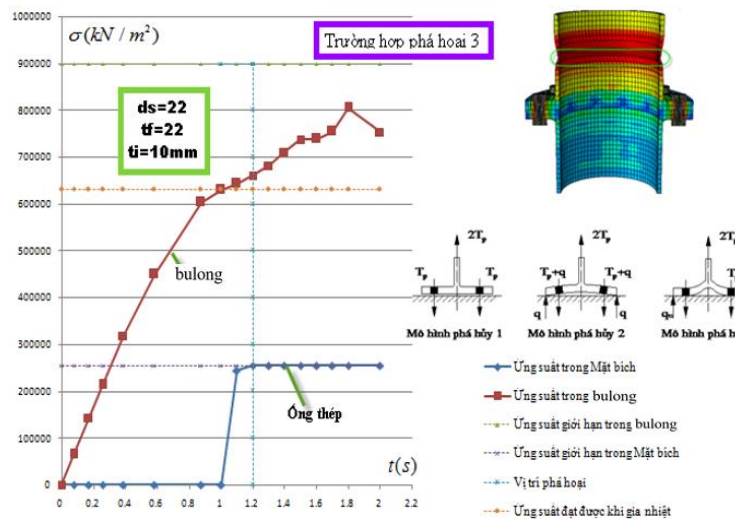
4.2 Kết quả phân tích mẫu 2

+ Trường hợp 1 (TH1): $e = 30\text{mm}$, $ds = 22\text{mm}$; $t_f = 22\text{mm}$; $ti = 10\text{mm}$ ($tF/ds = 1$; $ti/tF = 0.45$; $(e1 + e2)/tF = 3.4$;

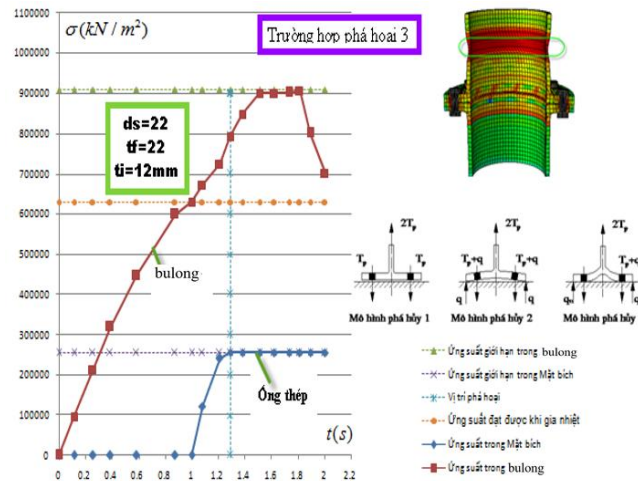
+ Trường hợp 2 (TH2): $e = 30\text{mm}$, $ds = 22\text{mm}$; $t_f = 20\text{mm}$; $ti = 12\text{mm}$ ($tF/ds = 1$; $ti/tF = 0.55$; $(e1 + e2)/tF = 3.4$;

+ Trường hợp 3 (TH3): $e = 30\text{mm}$, $ds = 22\text{mm}$, $tF = 22\text{mm}$; $ti = 14\text{mm}$ ($tF/ds = 1$; $ti/tF = 0.64$; $(e1 + e2)/tF = 3.4$;

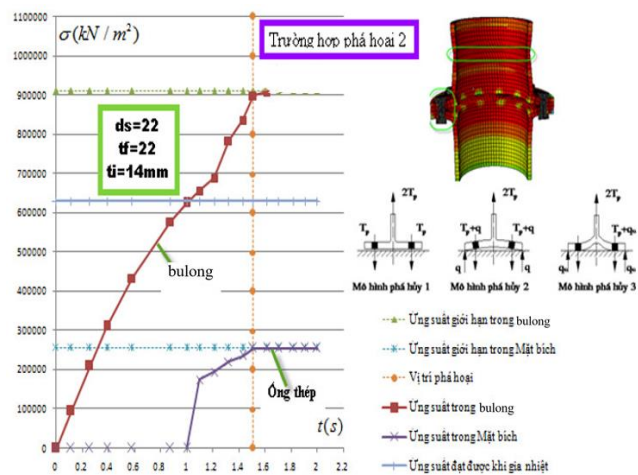
+ Trường hợp 4 (TH4): $e = 30\text{mm}$, $ds = 22\text{mm}$, $tF = 22\text{mm}$; $ti = 16\text{mm}$ ($tF/ds = 1$; $ti/tF = 0.73$; $(e1 + e2)/tF = 3.4$.



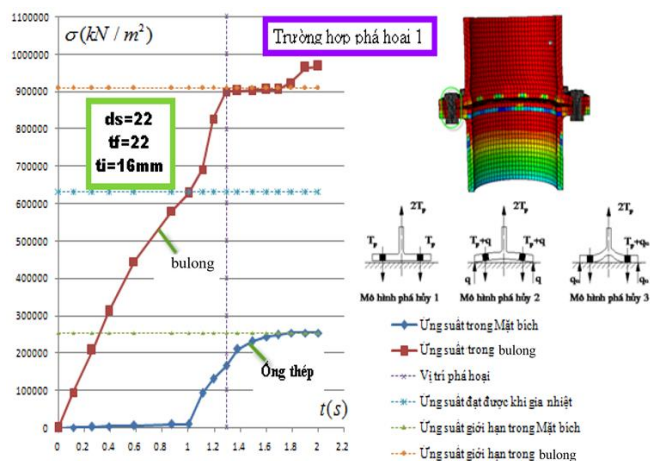
Hình 18. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH1



Hình 19. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH2



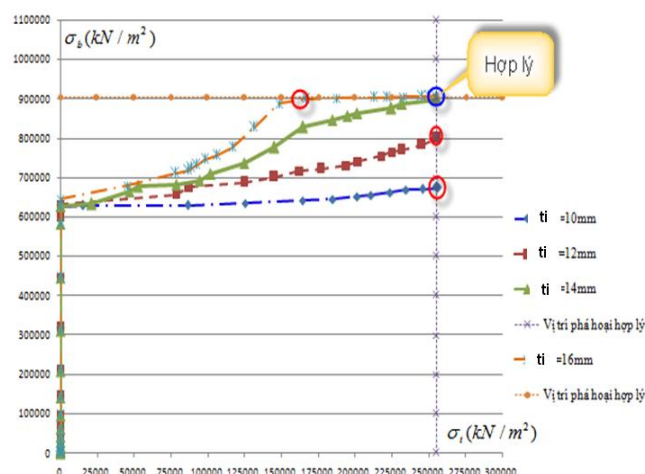
Hình 20. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH3



Hình 21. Tương quan ứng suất trong ống thép và bulong TH4

Từ kết quả phân tích 04 mô hình ta thấy trường hợp số 3 ($t_f/d_s = 1$; $t_i/t_f = 0.64$; $(e_1 + e_2)/t_f = 3.4$) (Hình 20) là trường hợp khi ứng suất bulong đạt được khi gia nhiệt thì ứng suất trong ống thép cũng đạt tới trạng thái giới hạn chảy (Mô hình phá hủy 2 của của Petersen).

Với số liệu 04 trường hợp trên ta có biểu đồ 04 đường: Trục tung là ứng suất trong bulong; Trục hoành là ứng suất trong mặt bích.



Hình 22. Biểu đồ tương quan ứng suất trong ống thép và bulong 04 trường hợp

Kết luận: Với trường hợp ống thép 267.4 x 6 chịu xoắn:

Với tỷ lệ kích thước: $(0.8 < tF/ds < 1.13; 0.3 \leq ti/ds \leq 0.63; (e1 + e2)/tF = 3.5)$ thì sự phá hoại là hợp lý nhất vì ống thép, mặt bích và bulong cùng đạt đến trạng thái giới hạn chảy theo mô hình phá hủy 2 của của Petersen.

5. Kết luận

Qua kết quả phân tích 02 mẫu ống tròn hay sử dụng trong thực tế. Tác giả đề xuất các kiến nghị sau:

+ Để đảm bảo liên kết ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulong chịu xoắn làm việc hợp lý thì tỷ lệ đường kính giữa bulong, chiều dày mặt bích và chiều dày ống thép cần có 01 giới hạn giữa ba tham số trên.

+ Qua kết quả thu được tác giả đề xuất tỷ lệ các tham số đường kính bulong (ds), chiều dày mặt bích (tf) và chiều dày ống thép (ti) như sau:

$$0.8 < tF/ds < 1.13$$

$$0.3 \leq ti/ds \leq 0.6$$

Nhằm đảm bảo kết cấu đảm bảo chịu lực và tối ưu vật liệu.

Tài liệu tham khảo

Abaqus. (n.d.). *Analysis user's manual (6.12), Volume IV*. Truy cập ngày 10/03/2021 tại <https://www.3ds.com/support/documentation/>

AISC Organization. (2016). *ANSI/AISC 360-16 specification for structure steel buildings*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.

An Gia Vu JSC. (n.d.). *Thép tấm cán nóng SM400A/SM400B/SM400C-JIS G3106 [Hot rolled steel plate SM400A/SM400B/SM400C-JIS G3106]*. Truy cập ngày 10/03/2021 tại <https://www.angiavu.com/thep-tam-can-nong-sm400a-sm400b-sm400c-jis-g3106>

Công ty TNHH Thương mại KOUEI Việt Nam (KOU EI). (n.d.). *Unytite F10T bu lông cường độ cao [Unytite F10T high tension bolt]*. Truy cập ngày 10/03/2021 tại <https://koueitrading.com/vn/product/unytite-f10t-bu-long-cuong-do-cao-unytite-f10t-high-tension-bolt/>

- European Standard. (2005). *Eurocode 3 - Design of steel structures Part 1-1: General rules and rules for buildings*. London, UK: British Standard Institution.
- Nguyen, N. T. A. (2016). Nghiên cứu đánh giá ứng xử của bulong và mặt bích trong cấu kiện liên kết chịu lực trượt ma sát bằng phương pháp phần tử hữu hạn [Research evaluated behavior of bolt and flange in slip-resistant connection by using FEM]. *Tạp chí Xây dựng, Bộ xây dựng*, (5), 22-26.
- Nguyen, V. T. (2017). Nghiên cứu sự làm việc của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulong chịu cắt uốn đồng thời [Study of work at the time of bolts, flange and steel pipe connections in shear, bending - bearing]. *Tạp chí Xây dựng, Bộ xây dựng*, (6), 25-30.
- Petersen, C. H. (2005). *Steel construction, Braunschweig: Vieweg - Verlag*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.
- Phan, B. C. (2017). Nghiên cứu sự làm việc của liên kết nối ống thép tròn sử dụng mặt bích và bulong chịu kéo (Nén) uốn đồng thời [Study of work at the time of bolts, flange and steel pipe connections in tensile (compress), shear, bending - bearing]. *Tạp chí Xây dựng, Bộ xây dựng*, (6), 35-40.
- Schmidt, H., & Neuper, M. (1997). On the elastostatic behavior of an eccentrically tensioned L-joint with Pre-stressed bolts. *Stahlbau*, 66, 163-168
- Tiêu Chuẩn Quốc gia - TCVN 5575-2012 (2012). *Steel structure - Design standard*. Hanoi, Vietnam: Nhà xuất bản Xây dựng.

