

Một số điểm mới về liên kết bu lông giữa tiêu chuẩn SP 16.13330.2017 của Nga so với TCVN 5575:2012

Some new problems with bolt connection between Russian standard SP 16.13330.2017 and Vietnamese Standard TCVN 5575: 2012

Hoàng Ngọc Phương

Tóm tắt

Bài báo trình bày một số điểm mới về liên kết bu lông giữa tiêu chuẩn SP của Nga so với Tiêu chuẩn thiết kế - Kết cấu thép TCVN 5575:2012.

Từ khóa: Liên kết bu lông, bu lông cường độ cao

Abstract

The paper presents some new problems about bolt connection between SP standard of Russia compared with Steel structures - Design standard TCVN 5575:2012.

Key words: Bolts connection, high strength bolts

1. Đặt vấn đề

Liên kết bu lông rất phổ biến hiện nay, việc tính toán đã được đề cập trong các tiêu chuẩn trước đây và hiện hành: Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép - TCVN 5575:2012. Các tiêu chuẩn này đều dựa trên tiêu chuẩn của Nga. Tuy nhiên, gần đây nước Nga đã ban hành tiêu chuẩn SP 16.13330.2017 - kết cấu thép - Phiên bản cập nhật SNiP II-23-81*, tiêu chuẩn mới này có một số điểm mới so với TCVN mà có thể áp dụng được. Do đó, bài báo này trình bày một số điểm mới về liên kết bu lông giữa tiêu chuẩn Nga so với tiêu chuẩn Việt Nam.

2. Một số điểm mới về liên kết bu lông giữa tiêu chuẩn Nga so với tiêu chuẩn Việt Nam

2.1. Kiểm tra khả năng chịu lực của bu lông thô, thường tính khi chịu cắt và kéo đồng thời

Khi xảy ra tác động đồng thời lên liên kết bu lông cả lực cắt và lực kéo, lực tác dụng lớn nhất lên một bu lông ngoài thỏa mãn điều kiện nhỏ hơn các giá trị theo (2), (3), (4), cần phải kiểm tra theo công thức (1) sau [4], mà TCVN 5575:2012 [3] không có:

$$\sqrt{\left(\frac{N_t}{[N]_{tb}}\right)^2 + \left(\frac{N_v}{[N]_{vb}}\right)^2} \leq 1 \quad (1)$$

N_v và N_t lần lượt là lực cắt và lực kéo tác dụng lên một bu lông đang xét $[N]_{tb}$; $[N]_{vb}$ xác định theo (4) và (2).

Khả năng chịu cắt của một bu lông được xác định [4]:

$$[N]_{vb} = f_{vb} A n_v \gamma_b \gamma_c \quad (2)$$

Khả năng chịu ép mặt của một bu lông được xác định [4]:

$$[N]_{cb} = f_{cb} d_b (\sum t)_{\min} \gamma_b \gamma_c \quad (3)$$

Khả năng chịu kéo của một bu lông được xác định [4]:

$$[N]_{tb} = f_{tb} A_{bn} \gamma_c \quad (4)$$

f_{vb} - cường độ tính toán chịu cắt của bu lông;

f_{cb} - cường độ tính toán chịu ép mặt của bu lông;

f_{tb} - cường độ tính toán chịu kéo của bu lông;

A - diện tích tiết diện thân bu lông (phần không bị ren) $A = \pi d_b^2/4$;

A_{bn} - diện tích thực của thân bu lông;

d_b - đường kính thân bu lông;

$(\sum t)_{\min}$ - tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía (cùng bị ép mặt ở một phía);

n_v - số lượng mặt cắt tính toán bu lông, khi có hai cấu kiện $n_v = 1$, khi có 3 cấu kiện $n_v = 2$;

γ_b - hệ số điều kiện làm việc của bu lông;

γ_c - hệ số điều kiện làm việc của kết cấu.

Nhận xét: Khi xác định khả năng chịu lực của một bu lông, tiêu chuẩn Nga khác tiêu chuẩn Việt Nam ở chỗ nhân thêm hệ số điều kiện làm việc γ_c vào vế phải của biểu thức.

2.2. Hệ số điều kiện làm việc của liên kết bu lông thô, thường, tính

Theo tiêu chuẩn Việt Nam thì hệ số điều kiện làm việc của liên kết bu lông γ_b được lấy như sau: bu lông thô, thường; $\gamma_b = 0,9$; bu lông tinh $\gamma_b = 1,0$. Nhưng theo [4] thì hệ số này được xác định như bảng sau:

ThS. Hoàng Ngọc Phương

Bộ môn Kết cấu Thép- Gỗ

Khoa Xây dựng

ĐT: 0968 567 234

Email: hoangngocphuongkt@gmail.com

Ngày nhận bài: 12/5/2020

Ngày sửa bài: 26/5/2020

Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

Bảng 1. Hệ số điều kiện làm việc của liên kết bu lông γ_b

Đặc trưng		Giới hạn chảy f_y của cầu kiện thép được liên kết	Giá trị $a/d, s/d$	Giá trị hệ số γ_b
Liên kết bu lông	Trạng thái làm việc	N/mm^2		
Một bu lông, bu lông độ chính xác lớp A, B hoặc cường độ cao	Cắt	-	-	1,0
	Ép mặt	Đến 285	$1,5 \leq a/d \leq 2$	$0,4 a/d + 0,2$
			$1,35 \leq a/d < 1,5$	$a/d - 0,7$
		Từ 285 đến 375	$1,5 \leq a/d \leq 2$	$0,5 a/d$
			$1,35 \leq a/d < 1,5$	$0,67 a/d - 0,25$
		Trên 375	$a/d \geq 2,5$	1,0
Nhiều bu lông, bu lông độ chính xác loại A	Cắt	-	-	1,0
	Ép mặt	Đến 285	$1,5 \leq a/d \leq 2$	$0,4 a/d + 0,2$
			$2 \leq s/d \leq 2,5$	$0,4 s/d$
		Từ 285 đến 375	$1,5 \leq a/d \leq 2$	$0,5 a/d$
			$2 \leq s/d \leq 2,5$	$0,5 s/d - 0,25$
		Trên 375	$a/d \geq 2,5$ $s/d \geq 3$	1,0

a là khoảng cách dọc theo phương của lực từ mép của cầu kiện đến tâm của lỗ gần nhất;

s là khoảng cách dọc theo phương của lực giữa tâm của các lỗ;

d là đường kính của lỗ bu lông.

Lưu ý:

1. Để tính toán liên kết nhiều bu lông chịu cắt và ép mặt bằng các bu lông có độ chính xác loại B, cũng như với các bu lông cường độ cao không điều chỉnh lực căng cho tất cả các giá trị giới hạn chảy f_y của thép làm cầu kiện liên kết, hệ số γ_b nên được nhân với 0,9.

2. Để tính toán liên kết nhiều bu lông, giá trị γ_b là giá trị nhỏ nhất được tính từ các giá trị chấp nhận của d, a, s.

Khi một lực N tác dụng lên liên kết bu lông và đi qua trọng tâm của liên kết, sự phân bố lực này lên các bu lông là đều. Trong trường hợp này số lượng bu lông được xác định theo công thức:

$$n \geq N/N_{b,min} \quad (5)$$

Giá trị $N_{b,min}$ là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị $[N]_{vb}, [N]_{cb}, [N]_{tb}$

Trong trường hợp tại liên kết, khoảng cách L giữa trọng tâm các bu lông (giữa các bu lông ngoài cùng hay là bu lông ở biên, mép) dọc theo phương của lực vượt quá 16d, giá trị của n trong công thức (5) phải được tăng lên bằng cách chia cho hệ số $\beta = 1 - 0,005.(L/d-16)$, β lấy nhỏ nhất bằng 0,75. Yêu cầu này không kể đến khi lực tác dụng dọc theo toàn bộ chiều dài liên kết (ví dụ liên kết giữa bụng và cánh dầm).

2.3. Bố trí bu lông

Việc bố trí bu lông phải đảm bảo yêu cầu truyền lực tốt, cấu tạo đơn giản và dễ chế tạo. Các khoảng cách quy định để bố trí bu lông và đính tán trên cầu kiện cho ở Bảng 2 [4].

Bảng 2. Quy định bố trí bu lông và đính tán

Đặc trưng về khoảng cách và cường độ của các cầu kiện được liên kết	Khoảng cách khi đặt bu lông
1. Khoảng cách giữa tâm của các lỗ bu lông theo hướng bất kỳ: a) Nhỏ nhất: Với $f \leq 375 N/mm^2$ Với $f > 375 N/mm^2$ b) Lớn nhất trong các dãy biên khi không có thép góc viền, chịu kéo và nén c) Lớn nhất trong các dãy giữa và các dãy biên khi có thép góc viền: - Khi chịu kéo - Khi chịu nén	2,5d 3d 8d hoặc 12t 16d hoặc 24t 12d hoặc 18t
2. Khoảng cách từ tâm lỗ bu lông đến mép của cầu kiện a) Nhỏ nhất dọc theo phương của lực: Với $f \leq 375 N/mm^2$ Với $f > 375 N/mm^2$ b) Nhỏ nhất vuông góc với phương của lực: - Khi mép cắt - Khi mép cán c) Lớn nhất d) Nhỏ nhất đối với bu lông cường độ cao khi mép bất kỳ và hướng bất kỳ	2d 2,5d 1,5d 1,2d 4d hoặc 8t 1,3d
3. Khoảng cách nhỏ nhất giữa tâm lỗ dọc theo phương của lực cho bu lông bố trí sole	$u + 1,5d$
d - đường kính của lỗ bu lông t - chiều dày mỏng hơn của các cầu kiện u - khoảng đường lỗ, là khoảng cách vuông góc với phương của lực giữa tâm các lỗ trên hai đường liên tiếp. Lưu ý: 1. Đường kính lỗ được lấy: đối với bu lông có độ chính xác loại A: $d = d_b$; đối với bu lông có độ chính xác loại B trong phần đế (chân cột) của các kết cấu đường dây truyền tải điện, thiết bị đóng cắt ngoài trời và mạng thông tin liên lạc: $d = d_b + 1 \text{ mm}$, trong các trường hợp khác: $d = d_b + (1; 2 \text{ hoặc } 3 \text{ mm})$, trong đó d_b là đường kính của bu lông. 2. Với liên kết một bu lông của hệ thanh bụng (thanh xiên và thanh đứng, ngoại trừ các thanh luôn chịu kéo, khi chiều dày thanh đến 6 mm, từ thép có giới hạn chảy đến 375 N/mm ² thì khoảng cách từ mép của thanh đến tâm của lỗ dọc theo phương của lực được lấy 1,35d (không có dung sai trong sản xuất các thanh theo chiều hướng giảm, và điều này cần được ghi rõ trong thiết kế). 3. Khi bố trí các bu lông theo kiểu so le, khoảng cách không nhỏ hơn quy định ở mục 3, mặt cắt ngang của phần tử An cần được xác định có tính đến sự giảm yếu của nó với các lỗ nằm trong cùng một mặt cắt ngang (không phải theo đường zích zắc). (tiết diện của thanh thép cơ bản (thép được liên kết) An kể đến sự giảm yếu do lỗ trên một mặt cắt theo phương vuông góc với phương của lực (không theo đường zích zắc).	

2.4. Khả năng chịu trượt của liên kết bu lông cường độ cao [4]

Liên kết bu lông cường độ cao được tính toán với giả thiết là lực ma sát giữa các bản thép tiếp nhận hoàn toàn lực

trượt do ngoại lực gây nên. Bu lông chỉ chịu kéo do lực xiết chặt êcu tạo nên.

Khả năng chịu trượt của một bu lông cường độ cao được xác định:

$$[N]_b = \frac{f_{hb} A_{bn} \mu}{\gamma_{b2}} \quad (6)$$

Trong đó:

f_{hb} - cường độ tính toán chịu kéo của bu lông cường độ cao, $f_{hb} = 0,7 f_{ub}$;

f_{ub} - cường độ tức thời tiêu chuẩn của vật liệu bu lông;

A_{bn} - diện tích tiết diện thực của bu lông (trừ phần giảm yếu do ren);

μ - hệ số ma sát (lấy theo Bảng 3);

γ_{b2} - hệ số độ tin cậy (lấy theo Bảng 3);

Bảng 3. Hệ số ma sát μ và hệ số độ tin cậy γ_{b2} [4]

Phương pháp làm sạch mặt phẳng của các cấu kiện được liên kết	Hệ số ma sát μ	Hệ số γ_{b2} khi tải trọng và độ dung sai giữa đường kính bu lông và lỗ ổ, mm	
		Động và $\delta=3+6$; Tĩnh và $\delta=5+6$	Động và $\delta=3+6$; Tĩnh và $\delta=5+6$
1. Phun cát thạch anh hoặc bột kim loại	0,58	1,35	1,12
2. Bằng ngọn lửa hơi đốt, không có lớp bảo vệ mặt kim loại	0,42	1,35	1,12
3. Bằng bàn chải sắt, không có lớp sơn bảo vệ	0,35	1,35	1,17
4. Không gia công bề mặt	0,25	1,70	1,30
Ghi chú: Khi kiểm tra độ căng của bu lông bằng góc quay của đai ốc, các giá trị γ_{b2} nên được nhân với 0,9.			

Nhận xét: Trong [3] ở Bảng 39 mục 8.3.3 thì hệ số ma sát μ và hệ số độ tin cậy γ_{b2} cho cụ thể theo phương pháp điều chỉnh theo M tức là theo mô men xoắn; theo α tức là theo góc quay của đai ốc.

Số lượng bu lông cường độ cao n cần thiết để chịu lực trượt N được tính theo công thức:

$$n \geq \frac{N}{[N]_b n_f \gamma_{b1} \gamma_c} \quad (7)$$

γ_{b1} - hệ số điều kiện làm việc của liên kết, phụ thuộc số lượng bu lông chịu lực n trong liên kết, giá trị của γ_{b1} lấy như sau:

$$\gamma_{b1} = 0,8 \text{ nếu } n < 5;$$

$$\gamma_{b1} = 0,9 \text{ nếu } 5 \leq n < 10;$$

$$\gamma_{b1} = 1,0 \text{ nếu } n \geq 10.$$

n_f - số lượng mặt phẳng ma sát tính toán.

Khi tác dụng lên liên kết ma sát ngoại lực gây kéo cho bu lông, lực kéo này làm giảm khả năng chịu trượt của liên kết vì nó làm giảm lực ma sát giữa các bản thép, hệ số γ_{b1} được nhân với hệ số $(1 - N_t / P_b)$, trong đó N_t là lực kéo lên mỗi bu lông, P_b là lực căng của bu lông $P_b = f_{hb} A_{bn}$. Phần bu lông cường độ cao chịu thêm lực kéo ngoài này theo [3] chưa có,

đây là phần bổ sung rất kịp thời cho người thiết kế khi thực hành tính toán.

Đường kính của bu lông trong liên kết ma sát được lấy theo điều kiện $\sum t \leq 4d_b$, trong đó $\sum t$ là tổng chiều dày của các bản thép được liên kết dịch chuyển theo một hướng, d_b là đường kính của bu lông.

Trong các liên kết ma sát có số lượng bu lông nhiều, đường kính của bu lông được lấy càng lớn càng tốt.

3. Ví dụ tính toán

Ví dụ 1:

Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bu lông cho nút của một giàn đỡ kéo tại vị trí cạnh cột như hình vẽ bên. Dùng bu lông thường cấp độ bền 6.6 có cường độ tính toán chịu cắt $f_{vb} = 230 \text{ N/mm}^2$, chịu kéo $f_{tb} = 250 \text{ N/mm}^2$,

đường kính $d_b = 20 \text{ mm}$ ($A = 3,14 \text{ cm}^2$, $A_{bn} = 2,45 \text{ cm}^2$), đường kính lỗ $d = 22 \text{ mm}$.

Thép cơ bản CCT34 có $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$ ($f_{cb} = 395 \text{ N/mm}^2$). Chịu lực kéo $N = 240 \text{ kN}$, chịu lực cắt $V = 40 \text{ kN}$, $\gamma_c = 1,0$.

Lực cắt tác dụng lên một bu lông:

$$N_v = 40/4 = 10 \text{ kN}$$

Lực kéo tác dụng lên một bu lông:

$$N_t = 240/4 = 60 \text{ kN}$$

Khả năng chịu cắt của một bu lông:

$$[N]_{vb} = f_{vb} \gamma_b A n_v \gamma_c = 230 \times 0,9 \times 3,14 \times 1 \times 1 = 64998 \text{ N} = 65 \text{ kN}$$

Khả năng chịu ép mặt của một bu lông:

$$[N]_{cb} = f_{cb} \gamma_b d_b (\sum t)_{\min} \gamma_c = 395 \times 0,9 \times 20 \times 10 \times 1 = 71100 \text{ N} = 71,1 \text{ kN}$$

Vì thép cơ bản CCT34 có $f_y = 220 \text{ N/mm}^2 < 285 \text{ N/mm}^2$, theo hình vẽ trên thì $a = 50 \text{ mm}$, $s = 80 \text{ mm}$, $d = 22 \text{ mm}$. $a/d = 50/22 = 2,27 > 2$, $s/d = 80/22 = 3,64 > 2,5$ tra Bảng 1 có $\gamma_b = 0,9$.

$$[N]_b = \min\{[N]_{vb}; [N]_{cb}\} = 65 \text{ kN} > N_v = 10 \text{ kN}$$

Khả năng chịu kéo của một bu lông được xác định:

Tại tiết diện thực, phần có ren

$$[N]_{tb} = f_{tb} A_{bn} \gamma_c = 250 \times 2,45 \times 1 = 61250 \text{ N} = 61,25 \text{ kN} > N_t = 60 \text{ kN}$$

Kiểm tra khả năng chịu lực của bu lông chịu cắt và kéo đồng thời:

$$\sqrt{\left(\frac{N_t}{[N]_{tb}}\right)^2 + \left(\frac{N_v}{[N]_{vb}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{60}{61,25}\right)^2 + \left(\frac{10}{65}\right)^2} = 0,99 < 1$$

Bu lông đảm bảo khả năng chịu lực.

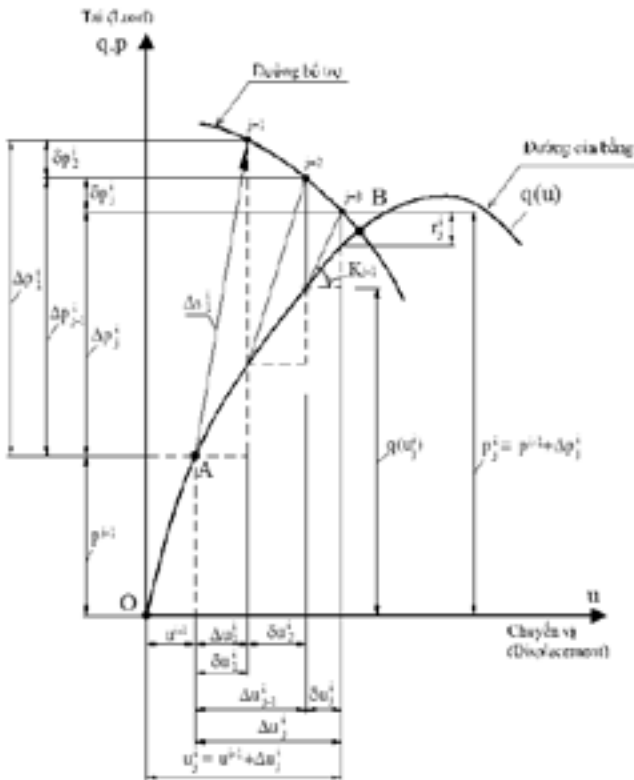
Ví dụ 2:

Số liệu như ví dụ 1 nhưng dùng liên kết bu lông cường độ cao $d_b = 20 \text{ mm}$, đường kính lỗ $d = 23 \text{ mm}$ (dung sai giữa đường kính thân bu lông và lỗ $\delta = 3 \text{ mm}$) từ thép 40Cr. Mặt các bản thép được gia công bằng bàn chải sắt, không có lớp bảo vệ. Bu lông được xiết bằng cờ lê đo lực (theo M).

Do mặt các bản thép được gia công bằng bàn chải sắt, không có lớp bảo vệ nên hệ số ma sát $\mu = 0,35$; dung sai giữa đường kính thân bu lông và lỗ $\delta = 3 \text{ mm}$ có hệ số độ tin cậy $\gamma_{b2} = 1,17$. Với thép 40Cr có $f_{ub} = 1100 \text{ N/mm}^2$, vậy $f_{hb} = 0,7 \cdot f_{ub} = 0,7 \times 1100 = 770 \text{ N/mm}^2$.

Số lượng bu lông $n = 4$ nên $\gamma_{b1} = 0,8$.

(xem tiếp trang 44)



Hình 8. Phương pháp điều khiển chiều dài dây cung

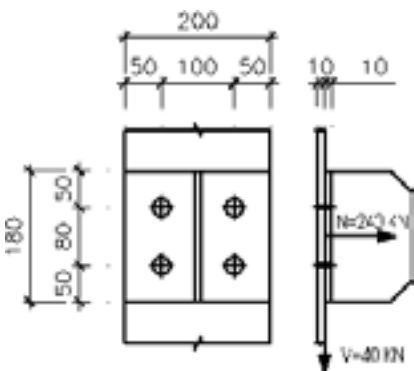
giai đoạn ổn định và mất ổn định. Phương pháp Newton-Raphson phù hợp với việc giải các bài toán phi tuyến phân tích tĩnh kết cấu nhưng không phù hợp với bài toán phân tích phi tuyến trong giai đoạn ổn định và mất ổn định của hệ kết cấu. Sự ra đời của lý thuyết sử dụng hàm hỗ trợ là một bước tiến trong nghiên cứu phương pháp tính phi tuyến ổn định. Việc lựa chọn phương pháp điều khiển phụ thuộc vào mục tiêu phân tích của bài toán. Phương pháp chiều dài dây cung với biến điều khiển đồng thời cả tải trọng và chuyển vị là phương pháp cho phép xác định điểm giới hạn tải trọng và chuyển vị trong phân tích phi tuyến giai đoạn ổn định và sau ổn định của kết cấu./.

Tài liệu tham khảo

1. M. A. Crisfield, *Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1&2*, John Wiley & Sons Ltd. 1997.
2. Crisfield, M. A., *A Fast Incremental/Iterative Solution Procedure That Handles Snap-Through*, *Comput. Struct.*, 1981
3. Lê Thọ Trình, Đỗ Văn Bình, *Ổn định công trình*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2006.
4. Timosenko, *Ổn định đàn hồi*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1976.
5. Riks, E., *The Application of Newton's Method to the Problem of Elastic Stability*, *ASME J. Appl. Mech.*, 1972.
6. Ritto-Correa, M., and Camotim, D., *On the Arc-Length and Other Quadratic Control Methods: Established, Less Known and New Implementation Procedures*, *Comput. Struct.*, 2008.

Các phương pháp giải bài toán phân tích phi tuyến...

(tiếp theo trang 39)



Hình 1. Ví dụ tính toán 1

Hệ số γ_{b1} được nhân với hệ số $(1 - N_t / P_b)$, trong đó N_t là lực kéo trên mỗi bu lông, P_b là lực căng của bu lông lấy bằng $P_b = f_{hb} A_{bn}$.

$$1 - N_t / P_b = 1 - 60000 / (770 \times 245) = 0,68$$

Thay vào công thức có khả năng chịu trượt của một bu lông:

$$[N]_b = f_{hb} A_{bn} \gamma_{b1} \left(\frac{\mu}{\gamma_{b2}} \right) n_f = 770 \times 245 \times (0,8 \times 0,68) \times \frac{0,35}{1,17} \times 1$$

$$= 30700 N = 30,7 kN$$

$$N_v = 10 kN < [N]_b = 30,7 kN.$$

$$[N]_b = \frac{f_{hb} A_{bn} \mu}{\gamma_{b2}} \quad n \geq \frac{N}{[N]_b n_f \gamma_{b1} \gamma_c} \quad (6) \quad (7)$$

$$n \geq \frac{N}{[N]_b n_f \gamma_{b1} \gamma_c} \rightarrow N \leq n [N]_b n_f \gamma_{b1} \gamma_c = n \frac{f_{hb} A_{bn} \mu}{\gamma_{b2}} n_f \gamma_{b1} \gamma_c$$

$$N \leq n \frac{f_{hb} A_{bn} \mu}{\gamma_{b2}} n_f \gamma_{b1} \gamma_c = 4 \times \frac{770 \times 245 \times 0,35}{1,17} \times 1 \times (0,8 \times 0,68) \times 1$$

$$= 122800 N = 122,8 kN$$

Mà $N = 40 kN < 122,8 kN$ thỏa mãn. Vậy bu lông đảm bảo khả năng chịu lực.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo này đã chỉ ra một số điểm mới về liên kết bu lông giữa tiêu chuẩn Nga SP so với Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012.

Có thể áp dụng một số công thức tính toán cho liên kết bu lông thô, thường, tinh chịu kéo, cắt đồng thời; bu lông cường độ cao khi chịu lực kéo ngoài làm giảm khả năng chịu lực mà tiêu chuẩn Việt Nam không có./.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2010), "Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2006) "Kết cấu thép - Công trình dân dụng và công nghiệp", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
3. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012, "Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
4. SP 16.13330.2017.