

Tính toán liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo TCVN 5575:2012, AISC 2005, EN 1993-1-8

Calculation of combined tension and shear bolts connection according TCVN 5575:2012, AISC 2005, EN 1993-1-8

Nguyễn Danh Hoàng

Tóm tắt

Liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời được sử dụng rất phổ biến trong các loại liên kết cứng kết cấu thép. Tuy nhiên việc tính toán loại liên kết này vẫn tồn tại một số điểm khác nhau theo các tiêu chuẩn. Bài báo đề cập đến tính toán liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo các tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế, tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005, tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8.

Từ khóa: kéo, cắt, kết hợp, độ bền

Abstract

Combined tension and shear bolt connections is very popular, especially for moment connections in steel building. However the calculation of this connection still has a number of different points according to the standards. So this paper refers to the calculation of combined tension and shear bolt connection according TCVN 5575:2012, AISC 2005, EN 1993-1-8.

Key words: tension, shear, combine, strength

ThS. Nguyễn Danh Hoàng

Giảng viên, Bộ môn kết cấu Thép-Gỗ
Khoa Xây Dựng

Email: ngdanhhoang@gmail.com

Ngày nhận bài: 09/5/2019

Ngày sửa bài: 28/5/2019

Ngày duyệt đăng: 05/5/2020

1. Đặt vấn đề

Liên kết bu lông cường độ cao (sau đây sẽ gọi tắt là bu lông) chịu kéo và cắt đồng thời được sử dụng rất phổ biến trong các liên kết cứng của kết cấu thép như liên kết cột xà ngang, liên kết xà ngang xà ngang của nhà công nghiệp, liên kết cứng của cột và dầm trong nhà cao tầng bằng kết cấu thép. Tại hình 1 giới thiệu một số hình thức liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời. Dưới tác dụng của mô men uốn và lực trục sẽ gây kéo trong thân bu lông, dưới tác dụng của lực cắt sẽ gây ra lực cắt ngang thân bu lông. Bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế được kiểm tra chịu lực kéo và cắt riêng biệt. Tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo các tiêu chuẩn như tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005, tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8 quan niệm tính toán có một số khác biệt so với tiêu chuẩn Việt Nam. Vì thế bài báo sẽ đề cập đến nội dung này nhằm mục đích cung cấp thêm thông tin về tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo các tiêu chuẩn khác nhau để người đọc có cách nhìn tổng quan về tính toán bu lông trong trường hợp này.

2. Tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế, tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005, tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8

2.1. Tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế

Lực trượt tính toán mà mỗi bu lông cường độ cao có thể chịu được tính toán theo công thức:

$$[N]_b = \frac{f_{hb} \gamma_{b1} A_{bn} \mu}{\gamma_{b2}} n_f \quad (1)$$

Trong đó:

f_{hb} là cường độ tính toán chịu kéo của bulông cường độ cao, lấy theo [1] hoặc theo các chỉ dẫn cụ thể của nhà sản xuất;

μ là hệ số ma sát, lấy theo Bảng 39 của [1];

γ_{b2} là hệ số độ tin cậy, lấy theo Bảng 39 của [1];

A_{bn} là diện tích tiết diện thực của bulông, lấy theo Bảng B.4, Phụ lục B của [1];

γ_{b1} là hệ số điều kiện làm việc của liên kết, phụ thuộc số lượng bulông chịu lực n_a trong liên kết, giá trị của γ_{b1} lấy như sau:

$\gamma_{b1} = 0,8$ nếu $n_a < 5$;

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

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

n_f là số lượng mặt cắt ma sát.

Khả năng chịu kéo của một Bu lông được tính toán theo công thức:

$$[N]_{tb} = f_{tb} A_{bn} \quad (2)$$

trong đó:

f_{tb} là cường độ tính toán bulông cường độ cao khi làm việc chịu kéo, A_{bn} như đã nêu ở trên.

Khi chịu tác dụng đồng thời của mô men, lực dọc và lực cắt liên kết bu lông được tính toán như sau:

* Xác định lực kéo tác dụng vào một bu lông ở dây ngoài cùng do mô men (M) và lực dọc (N) tác dụng vào (dựa trên giả thiết tâm quay trùng với dây bu lông phía trong cùng):

$$N_{bmax} = \frac{Mh_1}{m \sum h_i^2} \pm \frac{N}{n} \quad (3)$$

trong đó:

h_i khoảng cách từ dây bu lông thứ i trong liên kết đến tâm quay;

h_1 là khoảng cách giữa 2 dây bu lông ngoài cùng;

n là tổng số bu lông chịu lực;

m là số hàng bu lông.

* Khi chịu lực cắt (coi lực cắt phân đều vào các bu lông) theo công thức:

$$N_{vb} = \frac{V}{n}$$

Kiểm tra khả năng chịu lực của bu lông liên kết (ở dây biên ngoài cùng là dây nguy hiểm nhất):

Khi chịu mô men và lực dọc:

$$N_{bmax} \leq [N]_{tb} \gamma_c \quad (4)$$

Khi chịu lực cắt:

$$\frac{V}{n} \leq [N]_b \gamma_c \quad (5)$$

Như vậy qua các công thức tính toán trên rút ra nhận xét việc kiểm tra chịu kéo và cắt của bu lông là riêng rẽ và chưa thấy có các hệ số xét đến ảnh hưởng của lực kéo đến khả năng chịu trượt của liên kết bu lông cường độ cao.

2.2. Tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005

* Độ bền danh nghĩa của một bu lông trong trạng thái giới hạn về trượt được xác định theo công thức sau:

$$R_n = \mu D_u h_{sc} T_b N_s \quad (6)$$

trong đó:

μ là hệ số ma sát trung bình tùy theo loại mặt cắt tiếp xúc giữa các bản thép, có 2 loại bề mặt tiếp xúc như sau:

$\mu = 0.35$ với bề mặt A;

$\mu = 0.5$ với bề mặt B.

$D_u = 1.13$ là hệ số thể hiện tỷ số lực xiết bu lông trung bình so với lực xiết tối thiểu quy định;

h_{sc} là hệ số lỗ, h_{sc} phụ thuộc vào các loại lỗ và được lấy giá trị như sau:

$h_{sc} = 1$ với lỗ chuẩn;

$h_{sc} = 0.85$ với lỗ lớn và lỗ rãnh ngắn;

$h_{sc} = 0.7$ với lỗ rãnh dài;

N_s là số mặt cắt;

T_b là lực xiết tối thiểu quy định lấy theo [2].

Trong quy phạm Mỹ việc tính toán các hệ kết cấu, các cấu kiện được thực hiện đồng thời theo 2 phương pháp đó là phương pháp ứng suất cho phép (ASD) và phương pháp hệ số tải trọng và sức kháng (LRFD) dưới đây sẽ trình bày công thức tính toán song song hai phương pháp.

Khi chịu kéo và cắt đồng thời lực kéo làm giảm ma sát giữa các bản thép nên độ bền danh nghĩa R_n phải giảm đi bằng hệ số K_s .

Theo LRFD K_s lấy giá trị:

$$K_s = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b N_b} \quad (7)$$

Theo ASD K_s lấy giá trị:

$$K_s = 1 - \frac{1.5 T_a}{D_u T_b N_b} \quad (8)$$

trong đó:

N_b là tổng số bu lông chịu kéo;

T_u, T_a là lực kéo do tổ hợp tải trọng của LRFD và ASD.

* Khi chịu cắt và kéo đồng thời độ bền kéo danh nghĩa của bu lông được tính bằng công thức sau:

$$R_n = F'_m A_b \quad (9)$$

trong đó:

A_b là diện tích nguyên của thân bu lông;

F'_m là cường độ chịu kéo danh nghĩa khi xét thêm lực cắt được xác định theo công thức sau:

Tính theo LRFD:

$$F'_m = 1.3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (10)$$

Tính theo ASD:

$$F'_m = 1.3 F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (11)$$

trong đó:

F_{nv} là cường độ cắt danh nghĩa của bu lông;

F_{nt} là cường độ kéo danh nghĩa của bu lông;

f_v là ứng suất cắt tác dụng lên thân bu lông.

Các hệ số an toàn theo LRFD và ASD lấy trong trường hợp tính toán này lần lượt là $\phi = 0.75$ và $\Omega = 2.0$

Sau khi xác định được độ bền thiết kế cho trường hợp bu lông chịu kéo và cắt so sánh các giá trị đó với lực kéo và cắt tác dụng lên một bu lông để kiểm tra khả năng chịu lực của bu lông trong liên kết theo [2] như sau:

$$\phi R_n \geq R_u \quad (12)$$

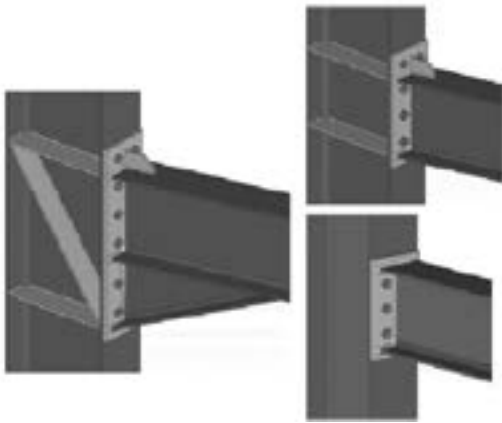
$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a \quad (13)$$

Lưu ý là khi ứng suất do tải trọng kéo hoặc cắt không lớn hơn quá 20% của ứng suất tính toán tương ứng thì AISC cho phép không tính và kéo và cắt kết hợp.

Qua các công thức tính toán ở mục này rút ra nhận xét khi tính toán theo AISC 2005 khả năng chịu kéo và cắt đồng thời của bu lông được kiểm tra riêng biệt tuy nhiên tính toán độ bền danh nghĩa của một bu lông trong trạng thái giới hạn về trượt có xét thêm các hệ số kể đến ảnh hưởng của lực kéo làm giảm khả năng chịu trượt của bu lông và khi tính toán độ bền kéo danh nghĩa của bu lông dùng giá trị cường độ chịu kéo danh nghĩa để xét thêm ảnh hưởng của lực cắt khi làm việc đồng thời.

2.3. Tính toán bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo tiêu chuẩn châu âu EN 1993-1-8

Độ bền thiết kế của một bu lông cường độ cao về trượt



a. Cột - Dầm



b. Cột - Kèo khung thép tiền chế



c. Cột - Dầm nghiêng



d. Đỉnh cột khung thép tiền chế

Hình 1. Liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời

được xác định theo công thức sau:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} \quad (14)$$

Trong đó:

k_s được cho trong bảng 3.6 của [3];

n là số lượng mặt cắt ma sát;

μ là hệ số trượt được xác định bằng thí nghiệm cho các mặt cắt ma sát hoặc lấy theo bảng 3.7 của [3];

γ_{M3} là hệ số an toàn riêng lấy theo [3];

Lực kéo trước trong thân bu lông được xác định theo công thức:

$$F_{p,c} = 0.7 A_s f_{ub} \quad (15)$$

A_s là diện tích chịu kéo của thân bu lông (diện tích thực);

f_{ub} là giới hạn bền của vật liệu thép thân bu lông.

Khả năng chịu kéo của bu lông được tính bằng công thức sau:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (16)$$

trong đó:

k_2 được lấy 0.63 với bu lông đầu chìm còn trong các trường hợp khác lấy giá trị 0.9;

γ_{M3} là hệ số an toàn riêng lấy theo [3];

A_s là diện tích chịu kéo của thân bu lông (diện tích thực);

f_{ub} là giới hạn bền của vật liệu thép thân bu lông.

Khi chịu kéo và cắt đồng thời khả năng chịu lực của bu lông được kiểm tra theo công thức sau:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1.0 \quad (17)$$

Với $F_{v,Ed}$ và $F_{t,Ed}$ là lực cắt và kéo thiết kế tác dụng lên một bu lông.

Tuy nhiên theo [3] liên kết chống trượt khi chịu tác dụng đồng thời của lực kéo $F_{t,Ed}$ và lực cắt $F_{v,Ed}$ khả năng chịu trượt của một bu lông được cho như sau:

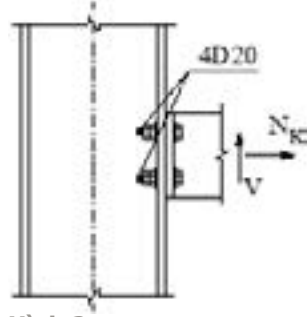
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} (F_{p,c} - 0.8 F_{t,Ed}) \quad (18)$$

Như vậy khi tính theo EN 1993-1-8 kiểm tra khả năng chịu kéo và cắt đồng thời của bu lông được gộp vào trong một công thức và khi tính toán khả năng chịu trượt của bu lông có xét thêm hệ số kể đến ảnh hưởng của lực kéo làm giảm khả năng chịu trượt của bu lông.

3. Ví dụ tính toán

Ví dụ 1.

Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bu lông cường độ cao có $f_{ub}=1100$ Mpa đường kính $d=20$ mm, chịu lực cắt $V=60$ kN, lực kéo $N_k=400$ kN. Liên kết có 4 bu lông bố trí như hình vẽ 2.



Hình 2.

Khả năng chịu trượt của 1 bu lông:

$$[N]_b = \frac{f_{hb} \gamma_{b1} A_{bn} \mu n_f}{\gamma_{b2}}$$

$$= 0,7 \frac{110 \times 0,8 \times 2,45 \times 0,25}{1,7} = 22 \text{ kN}$$

Khả năng chịu kéo của 1 bu lông:

$$[N]_{tb} = f_{tb} A_{bn} = 40 \times 2,45 = 98 \text{ kN}$$

Lực kéo truyền lên mỗi bu lông:

$$N_{tb} = \frac{N_k}{n} = \frac{350}{4} = 87,5 \text{ kN} < 98 \text{ kN}$$

Lực cắt truyền lên mỗi Bu Lông:

$$N_{vb} = \frac{N_k}{n} = \frac{60}{4} = 15 \text{ kN} < 22 \text{ kN}$$

Ví dụ 2.

Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bu lông cường độ cao mác thép A325 đường kính $d=20$ mm, liên kết bề mặt loại A, chịu lực như ví dụ 1. Tính toán theo tiêu chuẩn Mỹ.

Độ bền danh nghĩa của một bu lông trong trạng thái giới hạn về trượt được xác định theo công thức sau:

$$R_n = \mu D_n h_{sc} T_b N_s = 0,35 \times 1,13 \times 1 \times 142 \times 1 = 56 \text{ kN}$$

Hệ số giảm:

$$K_s = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b N_b} = 1 - \frac{350}{1,13 \times 142 \times 4} = 0,455$$

Độ bền danh nghĩa sau khi giảm: $0,455 \times 56 = 24 \text{ kN}$

Khả năng chịu kéo danh nghĩa có kể đến ảnh hưởng của ứng suất cắt:

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_v \leq F_{nt}$$

$$= 1,3 \times 620 - \frac{620}{0,75 \times 414} \times 47,7 = 710 \text{ MPa}$$

$$R_n = F'_{nt} A_b = 62 \times 3,14 = 194 \text{ kN}$$

Tính theo LRFD ta được:

- Khả năng chịu kéo:

$$\phi R_n = 0,75 \times 194 = 145,5 \text{ kN} > 87,5 \text{ kN}$$

- Khả năng chịu cắt:

$$\phi R_n = 0,75 \times 24 = 18 \text{ kN} > 15 \text{ kN}$$

Ví dụ 3.

Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bu lông cường độ cao cấp bền 8.8 đường kính $d=20$ mm, bề mặt ma sát loại C. Chịu lực như ví dụ 1, tính toán theo tiêu chuẩn châu Âu.

Độ bền thiết kế của một bu lông cường độ cao về trượt được xác định theo công thức sau:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c}$$

$$= \frac{1 \times 1 \times 0,2}{1,25} \times 0,7 \times 110 \times 2,45 = 30,18 \text{ kN}$$

Khi chịu kéo và cắt đồng thời xác định như sau:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} (F_{p,c} - 0,8 F_{t,Ed})$$

$$= \frac{1 \times 1 \times 0,3}{1,25} (0,7 \times 110 \times 2,45 - 0,8 \times 87,5) = 28,5 \text{ kN}$$

Khả năng chịu kéo của bu lông được tính bằng công thức sau:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,63 \times 2,45 \times 110}{1,25} = 135,83 \text{ kN}$$

Khi chịu kéo và cắt đồng thời khả năng chịu lực của bu lông được kiểm tra theo công thức sau:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$= \frac{15}{28,5} + \frac{87,5}{1,4 \times 135,83} = 0,97 < 1$$

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày cách tính toán liên kết bu lông chịu kéo và cắt đồng thời theo các tiêu chuẩn TCVN 5575:2012, tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005, tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8.

Trong tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 kéo và cắt được kiểm tra riêng biệt, con đối với tiêu chuẩn Mỹ AISC 2005 và tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-8 có đề cập thêm các hệ số làm giảm khả năng chịu trượt khi có lực kéo./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế
2. American Institute of Steel Construction (2005)
3. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints
4. Phạm Minh Hà - Đoàn Tuyết Ngọc, Thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng một nhịp, NXB Xây dựng, 2008.
5. Phạm Văn Hội - Nguyễn Quang Viên - Phạm Văn Tư - Lưu Văn Tường, Kết cấu thép phân Cấu kiện cơ bản, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
6. Nguyễn Quang Viên - Phạm Văn Tư - Hoàng Văn Quang, Kết cấu thép nhà dân dụng và công nghiệp, NXB Khoa học và kỹ thuật, 2013.
7. Đoàn Định Kiến - Nguyễn Song Hà, Thiết kế kết cấu thép theo quy phạm Hoa Kỳ AISC 2005, NXB Khoa học và kỹ thuật, 2013.