

# Tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng theo tiêu chuẩn AISI S100-16

Calculation of power-actuated fasteners according to AISI S100-16

Vũ Quang Duẩn

## Tóm tắt

Công nghệ liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng là một hệ thống trong đó đinh hoặc chốt được bắn vào vật liệu cơ bản (thép, bê tông hay gạch đá) bằng cách sử dụng công cụ kích hoạt bằng năng lượng. Liên kết này còn được gọi là liên kết trực tiếp. Liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng được sử dụng nhiều trong lĩnh vực xây dựng và được sử dụng tương đối phổ biến trong kết cấu thép tạo hình nguội. Cấu tạo và tính toán liên kết này có nhiều khác biệt so với liên kết chốt vằn. Liên kết có thể bị phá hủy do kéo, cắt, kéo cắt kết hợp hoặc xé rách. Bài báo giới thiệu cấu tạo và tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng dùng cho kết cấu thép tạo hình nguội theo tiêu chuẩn AISI S100-16. Trình tự tính toán liên kết này được thể hiện bằng một ví dụ.

**Từ khóa:** Liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng, kết cấu thép tạo hình nguội, độ bền kéo danh nghĩa, độ bền nghiêng và ép mặt danh nghĩa, độ bền nhỏ bật danh nghĩa, độ bền kéo đứt danh nghĩa, độ bền xé rách danh nghĩa

## Abstract

Power-actuated fastener technology is a system in which nails or pins are fired into a base material (steel, concrete or brick) using a power-actuated tool. This fastener is also known as direct fastener. Power-actuated fasteners are widely used in the construction field and are relatively commonly used in cold-formed steel structures. The detail and calculation of this fastener are much different from the screw connection. This paper presents an introduction to the structure and calculation of the power-actuated fastener for cold-formed steel structure based on AISI S100-16 standards. The calculation sequence of this fastener is shown using an example.

**Key words:** Power-actuated fastener, cold-formed steel structures, nominal tensile strength, nominal bearing and tilting strength, nominal pull-out strength, nominal pull-over strength, nominal rupture strength

ThS. Vũ Quang Duẩn

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ

Khoa Xây dựng

Email: vquanduan@gmail.com

ĐT: 0913.082.015

Ngày nhận bài: 6/11/2021

Ngày sửa bài: 13/12/2021

Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

## 1. Giới thiệu chung

Liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng (Power-actuated fastener - PAF) đầu tiên được phát minh vào năm 1915 và được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như cơ khí, điện và xây dựng. Trong lĩnh vực xây dựng, chốt kích hoạt bằng năng lượng được sử dụng để liên kết các tấm kim loại mỏng với nhau; liên kết các cấu kiện thép tương đối dày với nhau; liên kết các vật liệu mềm với thép, bê tông hoặc gạch; liên kết treo, liên kết hệ thống kỹ thuật trong công trình; liên kết tấm sàn thép; liên kết chốt chống cắt trong kết cấu liên hợp; liên kết tạm thời, [1]... Ứng dụng phổ biến nhất của PAF trong ngành công nghiệp thép tạo hình nguội là việc gắn trụ tường vào gối đỡ bê tông hoặc thép; liên kết xà gỗ, dầm tường vào kết cấu khung; liên kết tấm tường vào dầm tường; liên kết tấm mái vào xà gỗ [2].

Các quy định cấu tạo sau đây được áp dụng cho các liên kết PAF giữa thép với thép. Độ dày thép cơ bản không tiếp xúc với đầu PAF lớn nhất là 19,1 mm. Độ dày thép cơ bản tiếp xúc với đầu PAF lớn nhất là 1,52 mm. Đường kính vòng đệm không được vượt quá 15,2 mm trong tính toán, mặc dù đường kính thực có thể lớn hơn. Đường kính PAF được giới hạn trong phạm vi từ 2,69 mm đến 5,23 mm [3].

Theo [3], các ký hiệu sau đây được dùng cho tính toán PAF:

a - đường kính chính của đầu PAF hình côn;

d - đường kính chốt được đo ở gần cạnh của bộ phận được liên kết, =  $d_s$  cho PAF được lắp đặt sao cho toàn bộ đầu nhọn nằm phía sau cạnh xa của bộ phận được liên kết;

$d_{ae}$  - đường kính chìm trung bình, được tính là giá trị trung bình của đường kính chốt được đo ở cạnh gần và cạnh xa của vật liệu cơ bản;

$d_s$  - đường kính thân danh nghĩa;

$d_w$  - đường kính thực tế của long đen hoặc đầu chốt tiếp xúc với bộ phận được liên kết, lấy nhỏ hơn hoặc bằng 15,2 mm trong tính toán;

E - mô đun đàn hồi của thép;

$F_{bs}$  - tham số ứng suất cơ bản,

= 455 MPa;

$F_{u1}$  - độ bền kéo của bộ phận tiếp xúc với đầu PAF hoặc long đen;

$F_{u2}$  - độ bền kéo của bộ phận không tiếp xúc với đầu PAF hoặc long đen;

$F_{uh}$  - độ bền kéo của thép PAF biến cứng;

$F_{ut}$  - độ bền kéo của thép PAF không biến cứng;

$F_{y2}$  - giới hạn chảy của bộ phận không tiếp xúc với đầu PAF hoặc long đen;

HRC<sub>p</sub> - độ cứng Rockwell C của thép PAF;

$l_{dp}$  - độ dài mũi PAF, xem Hình 1;

$P_{nb}$  - độ bền nghiêng và ép mặt danh nghĩa trên mỗi PAF;

$P_{nos}$  - độ bền nhỏ bật (pull-out) danh nghĩa khi chịu cắt trên mỗi PAF;

$P_{not}$  - độ bền nhỏ bật (pull-out) danh nghĩa khi chịu kéo trên mỗi PAF;

$P_{nov}$  - độ bền kéo đứt (pull-over) danh nghĩa trên mỗi PAF;

$P_{nt}$  - độ bền kéo danh nghĩa trên mỗi PAF;

$P_{ntp}$  - độ bền kéo danh nghĩa của PAF;

$P_{nv}$  - độ bền cắt danh nghĩa trên mỗi PAF;

$P_{nvp}$  - độ bền cắt danh nghĩa của PAF;  
 $t_1$  - độ dày của bộ phận tiếp xúc với đầu PAF hoặc long đen;  
 $t_2$  - độ dày của bộ phận không tiếp xúc với đầu PAF hoặc long đen;  
 $t_w$  - độ dày long đen.

Các kích thước của PAF được thể hiện trên Hình 1.

Khoảng cách tối thiểu từ tâm đến tâm của PAF và khoảng cách tối thiểu từ tâm của PAF đến bất kỳ cạnh nào của bộ phận được liên kết được lấy theo Bảng 1.

**Bảng 1. Khoảng cách tối thiểu**

Đường kính thân PAF, $d_s$ (mm)	Khoảng cách PAF tối thiểu (mm)	Khoảng cách mép tối thiểu (mm)
$2,69 \leq d_s < 5,08$	25,4	12,7
$5,08 \leq d_s < 5,23$	40,6	25,4

## 2. Các dạng phá hủy và tính toán

### 2.1. PAF chịu kéo

Khi chịu kéo, ngoài phá hủy do xé rách các tấm thép được liên kết theo mục 2.4, liên kết có thể bị phá hủy do kéo đứt thân chốt, nhổ bật chốt hoặc kéo đứt tấm thép dưới mũ chốt hoặc dưới long đen (Hình 2). Độ bền kéo cho phép trên mỗi PAF là giá trị tối thiểu được xác định theo các mục từ a đến c dưới đây. Độ dày long đen  $t_w$  được áp dụng như đối với liên kết vít. Ngoại trừ đối với chốt đầu côn, độ dày long đen  $t_w$  tối thiểu không được nhỏ hơn 0,991 mm. Các độ dày của long đen kiểu mũ đội đầu gắn sẵn có thể thu gọn không được vượt quá 0,508 mm.

a) Độ bền kéo của PAF

Độ bền kéo danh nghĩa của PAF được xác định theo công thức sau:

$$P_{ntp} = (d/2)^2 \pi F_{uh} \quad (1)$$

$$\phi = 0,75$$

$F_{uh}$  trong công thức ở trên sẽ được tính theo công thức 2. Ngoài ra, đối với vật chất có HRCp từ 52 trở lên,  $F_{uh}$  được phép lấy là 1790 MPa.

$$F_{uh} = F_{bs} e^{(HRC_p/40)} \quad (2)$$

trong đó  $e = 2,718$ .

b) Độ bền nhổ bật

Độ bền nhổ bật danh nghĩa  $P_{not}$  được xác định bằng các thí nghiệm độc lập trong phòng với hệ số an toàn và hệ số sức kháng xác định theo mục K2 tài liệu [3]. Ngoài ra, đối với các liên kết có  $l_{dp}$  nằm dưới  $t_2$ , hệ số sức kháng  $\phi = 0,4$ .

c) Độ bền kéo đứt

Độ bền kéo đứt danh nghĩa được xác định theo công thức sau:

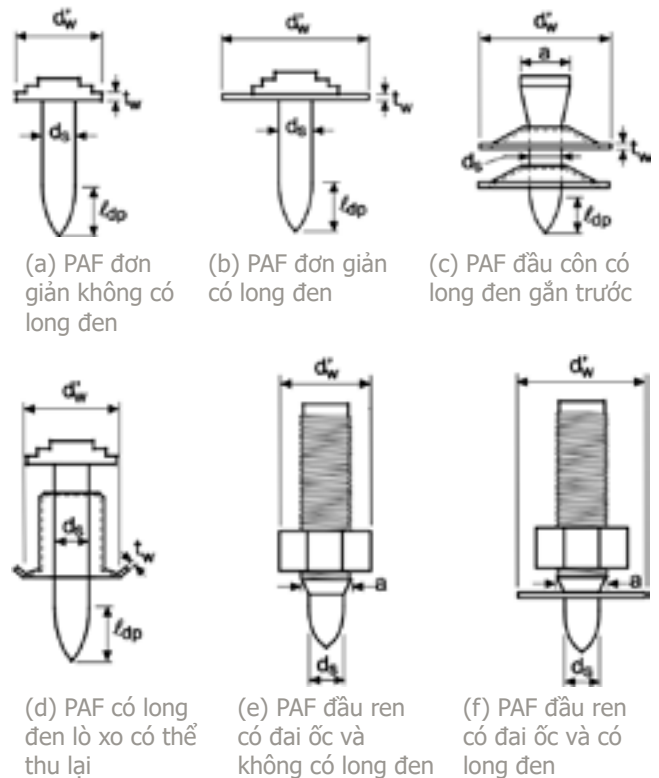
$$P_{nov} = \alpha_w t_1 d_w F_{u1} \quad (3)$$

$$\phi = 0,5$$

trong đó:

$\alpha_w = 1,5$  đối với các PAF đầu phẳng dạng vít, dạng bu lông, dạng đinh hoặc PAF đơn giản, có hoặc không có long đen (xem Hình 1(a) và 1(b)),

$= 1,5$  đối với các PAF có ren và đối với các PAF có đầu côn có thể kéo đứt bằng ma sát và khóa của long đen được gắn trước (xem Hình 1(c)), với tỷ lệ  $a/d_s$  không nhỏ hơn 1,6 và  $(a - d_s)$  không nhỏ hơn 3,1 mm,



**Hình 1. Các kích thước hình học của các PAF**

$= 1,25$  đối với các PAF có ren và đối với các PAF có đầu côn có thể kéo đứt bằng ma sát và khóa của long đen được gắn trước (xem Hình 1(c)), với tỷ lệ  $a/d_s$  không nhỏ hơn 1,4 và  $(a - d_s)$  không nhỏ hơn 2 mm,

$= 2$  đối với các PAF có long đen lò xo có thể thu lại (xem Hình 1(d)).

### 2.2. PAF chịu cắt

Khi chịu cắt, ngoài phá hủy do xé rách theo mục 2.4, liên kết có thể bị phá hủy do cắt đứt thân chốt, nghiêng và ép mặt hoặc nhổ bật chốt (Hình 3). Độ bền cắt cho phép trên mỗi PAF là giá trị tối thiểu được xác định theo các mục từ a đến d dưới đây.

a) Độ bền chịu cắt của các PAF

Độ bền cắt danh nghĩa của các PAF được xác định theo công thức sau:

$$P_{nvp} = 0,6(d/2)^2 \pi F_{uh} \quad (4)$$

$$\phi = 0,6$$

trong đó  $F_{uh}$  xác định theo mục 2.1.

b) Độ bền nghiêng và ép mặt

Đối với các PAF chìm mà độ dài mũi  $l_{dp}$  nằm dưới  $t_2$ , độ bền nghiêng và ép mặt danh nghĩa được xác định theo công thức sau:

$$P_{nb} = \alpha_b d_s t_1 F_{u1} \quad (5)$$

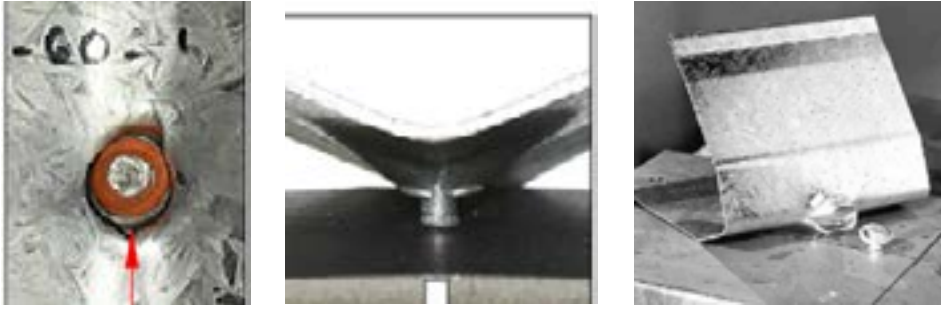
$$\phi = 0,80$$

trong đó  $\alpha_b = 3,7$  đối với dạng liên kết như Hình 1(c) và 1(d),

$= 3,2$  đối với các dạng liên kết khác.

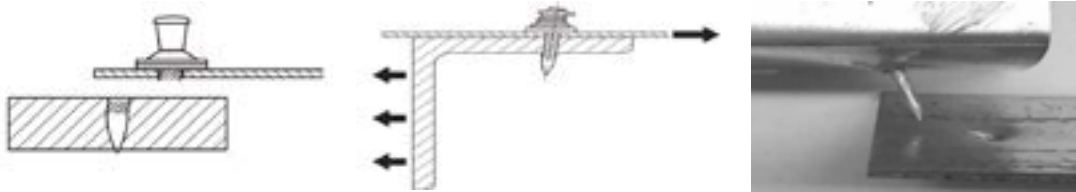
Công thức 5 được áp dụng với các giới hạn sau:

$$(1) t_2/t_1 \geq 2,$$



a) Kéo đứt thân chốt      b) Nhổ bật chốt      c) Kéo đứt tấm thép

**Hình 2. Các dạng phá hủy do kéo**



a) Cắt đứt thân PAF      b) Nghiêng và ép mặt      c) Nhổ bật PAF

**Hình 3. Các dạng phá hoại do cắt**

- (2)  $t_2 \geq 3,18$  mm, và
- (3)  $3,71$  mm  $\leq d_s \leq 4,50$  mm.
- c) Độ bền nhổ bật khi chịu cắt

Đối với các PAF bắn vào thép qua độ sâu ít nhất là  $0,6t_2$ , độ bền nhổ bật danh nghĩa khi chịu cắt được xác định theo công thức sau:

$$P_{nos} = \frac{\phi^{1,8} t_2^{0,2} (F_{y2} E^2)^{1/3}}{30} \quad (6)$$

$$\phi = 0,60$$

Công thức 6 được áp dụng với các giới hạn sau:

- (1)  $2,87$  mm  $\leq t_2 \leq 19,1$  mm, và
- (2)  $2,69$  mm  $\leq d_s \leq 5,23$  mm.

- d) Độ bền xé rách trên tiết diện nguyên

Độ bền cho phép do xé rách trên tiết diện nguyên và cắt khối được xác định theo mục 2.4. Trong các tính toán theo trạng thái giới hạn do xé rách trên tiết diện nguyên và cắt khối, kích thước lỗ được lấy bằng 1,1 lần đường kính thân danh nghĩa  $d_s$ .

### 2.3. Kéo và cắt kết hợp

Ảnh hưởng của kéo và cắt kết hợp lên liên kết PAF (bao gồm cả sự tương tác do nhổ bật và cắt kết hợp, cắt đứt và cắt kết hợp, kéo và cắt kết hợp lên PAF) được xem xét trong thiết kế.

### 2.4. Xé rách

Các quy định dưới đây áp dụng cho các liên kết PAF giữa thép với thép, trong đó tấm mỏng nhất có chiều dày nhỏ hơn hoặc bằng 4,76 mm. Đối với liên kết các tấm thép trong đó tấm mỏng nhất có chiều dày lớn hơn 4,76 mm sẽ áp dụng tài liệu [4].

Đối với các liên kết PAF có thể bị phá hủy do cắt hoặc do kéo (Hình 4), độ bền xé rách danh nghĩa  $R_n$  sẽ lấy giá trị nhỏ hơn trong các giá trị tính theo mục a hoặc b (nếu có). Hệ số sức kháng  $\phi = 0,5$ .

- a) Xé rách do cắt

Độ bền xé rách danh nghĩa do cắt được xác định theo công thức sau:

$$P_{nv} = 0,6 F_u A_{nv} \quad (7)$$

trong đó:

$F_u$  - cường độ chịu kéo của bộ phận được liên kết;

$A_{nv}$  - diện tích tiết diện thực chịu cắt (song song với phương lực tác dụng), xác định như sau:

Đối với một liên kết trong đó mỗi PAF riêng lẻ kéo qua tấm thép về phía mép tấm:

$$A_{nv} = 2nt_{net} \quad (8)$$

trong đó:

$n$  - số PAF ở tiết diện nguy hiểm;

$t$  - chiều dày thép cơ bản;

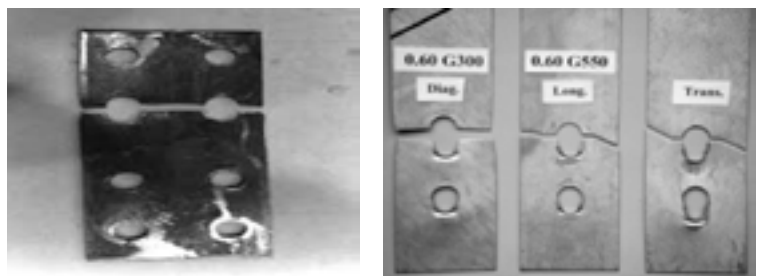
$e_{net}$  - khoảng cách thông thủy giữa mép tấm thép và cạnh lỗ.

Đối với liên kết đầu dầm trong đó một hoặc nhiều bản cánh tham gia chịu lực:

$$A_{nv} = (h_{wc} - n_b d_h) t \quad (9)$$

trong đó:

$h_{wc}$  - chiều dày phần bụng phẳng tham gia chịu lực;



a) Do cắt      b) Do kéo

**Hình 4. Các dạng xé rách trong các liên kết PAF**

$n_b$  - số lượng PAF dọc theo đường phá hoại đang xét;

$d_h$  - đường kính lỗ;

$t$  - chiều dày bản bụng tham gia chịu lực.

Xé rách do kéo

Độ bền xé rách danh nghĩa do kéo được xác định theo công thức sau:

$$P_{nt} = F_u A_e \quad (10)$$

trong đó:

$A_e$  - diện tích tiết diện thực hữu hiệu chịu kéo,

$$A_e = U_{sl} A_{nt} \quad (11)$$

$U_{sl}$  - hệ số "shear lag" xác định theo Bảng 2;

$A_{nt}$  - diện tích tiết diện thực chịu kéo (vuông góc với phương lực tác dụng),

$$A_{nt} = A_g - n_b d_h t + t \sum [s'^2 / (4g + 2d_h)] \quad (12)$$

với:

$A_g$  - diện tích tiết diện nguyên của cấu kiện;

$s'$  - khoảng cách từ tâm đến tâm theo phương dọc của 2 lỗ cạnh nhau;

$g$  - khoảng cách từ tâm đến tâm theo phương ngang của hai PAF;

$n_b$  - số lượng PAF dọc theo đường phá hoại đang xét;

$d_h$  - đường kính lỗ tiêu chuẩn;

$t$  - chiều dày thép cơ bản;

$F_u$  - cường độ chịu kéo của bộ phận được liên kết.

**Bảng 2: Hệ số "shear lag" cho các liên kết PAF với cấu kiện chịu kéo**

Mô tả phần tử	Hệ số "shear lag", $U_{sl}$
Đối với liên kết tấm phẳng không có lỗ so le	$U_{sl} = 0,9 + 0,1d/s$ (13)
Đối với liên kết tấm phẳng có lỗ so le	$U_{sl} = 1$ (14)
Các ký hiệu trong bảng được định nghĩa như sau: $s$ - chiều rộng tấm thép chia cho số lượng lỗ bu lông trong mặt cắt ngang đang xét; $d$ - đường kính danh nghĩa của PAF.	

### 3. Ví dụ tính toán

#### Cho biết:

PAF có đường kính  $d = 4$  mm,  $d_w' = 9$  mm,  $t_w = 1$  mm, độ bền nhỏ bật danh nghĩa theo báo cáo của nhà sản xuất là  $P_{not} = 7$  kN.

Cấu tạo liên kết và vật liệu thể hiện trong Hình 6.

Tải trọng danh nghĩa:  $T_w = 1,1$  kN,  $V_w = 1,8$  kN.

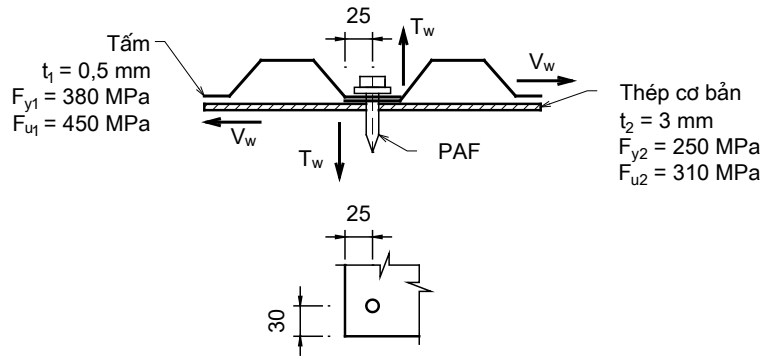
Khoảng cách giữa các PAF theo phương vuông góc với lực tác dụng là 350 mm. Theo yêu cầu của nhà sản xuất, PAF được lắp đặt sao cho toàn bộ chiều dài mũi ldp nằm hoàn toàn dưới chiều dày thép cơ bản.

Tất cả vật liệu đều có mô đun đàn hồi  $E = 203000$  MPa.

**Yêu cầu:** Kiểm tra khả năng chịu cắt và chịu kéo của PAF theo phương pháp LRFD, không xét đến sự làm việc đồng thời giữa cắt và kéo.

#### Lời giải:

Độ bền yêu cầu



**Hình 5. Liên kết PAF**

Chịu kéo:  $T_u = 1 \cdot T_w = 1 \cdot 1,1 = 1,1$  kN.

Chịu cắt:  $V_u = 1 \cdot V_w = 1 \cdot 1,8 = 1,8$  kN.

Kiểm tra điều kiện áp dụng (theo mục 1)

$t_2 = 5$  mm < 19,1 mm → Đạt.

$t_1 = 0,5$  mm < 1,52 mm → Đạt.

2,69 mm <  $d = 4$  mm < 5,08 mm Đạt.

Khoảng cách mép là 25 mm > 12,7 mm → Đạt.

Độ bền thiết kế về kéo

Độ bền chịu kéo của PAF

Kiểm tra chiều dày long đen  $t_w = 1$  → Đạt.

Do PAF được lắp đặt sao cho toàn bộ chiều dài mũi ldp nằm hoàn toàn dưới chiều dày thép cơ bản nên  $d = d_s = 4$  mm.

Do  $HRC_p = 56 > 52$  nên dùng  $F_{uh} = 1790$  MPa.

$$P_{ntp} = (d/2)^2 \pi F_{uh} = (4/2)^2 \cdot 3,14 \cdot 1790 = 22,5$$
 kN

Do  $T_u = 1,1$  kN <  $\phi P_{ntp} = 0,6 \cdot 22,5 = 13,5$  kN nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền nhỏ bật

Do  $T_u = 1,1$  kN <  $\phi P_{ntp} = 0,6 \cdot 22,5 = 13,5$  kN nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền kéo đứt

$$P_{nov} = \alpha_w t_f d_w' F_{u1} = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 9 \cdot 450 = 3038$$
 N = 3 kN

Do  $T_u = 1,1$  kN <  $\phi P_{nov} = 0,5 \cdot 3 = 1,5$  kN nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền thiết kế về cắt

Độ bền chịu cắt của PAF

$$P_{nvp} = 0,6 (d/2)^2 \pi F_{uh} = 0,6 \cdot (4/2)^2 \cdot 3,14 \cdot 1790 = 13489$$
 N = 13,5 kN.

Do  $V_u = 1,8$  kN <  $\phi P_{nvp} = 0,6 \cdot 13,5 = 8,1$  kN nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền nghiêng và ép mặt

$t_2/t_1 = 5/0,5 = 10 > 2$  → Đạt.

$t_2 = 5$  mm > 3,18 mm → Đạt.

3,71 mm <  $d_s = 4$  mm < 4,5 mm → Đạt.

$$P_{nb} = \alpha_b d_s t_f F_{u1} = 3,2 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 450 = 2880$$
 N = 2,9 kN.

(Xem tiếp trang 47)

Với cùng tổng lượng mưa, trong ngắn hạn, các cơn mưa tập trung gây nguy hiểm hơn cho mái dốc đất so với ảnh hưởng của các cơn mưa theo đợt. Khi xét quãng thời gian dài ngày, quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng chiếm ưu thế làm giảm ảnh hưởng của mưa tập trung, các cơn mưa theo đợt trở nên ngày càng nguy hiểm hơn khi lượng mưa mới bổ sung vào lượng mưa được tích lũy trong khối trượt trước đó. Điều này giải thích hiện tượng quan sát được trong thực tế khi có nhiều mái dốc an toàn trong các cơn mưa to nhưng lại

bị mất ổn định trong các cơn mưa nhỏ theo đợt.

#### Kiến nghị

Khi phân tích ổn định mái dốc đất chịu mưa, nên sử dụng số liệu đo đạc mưa thực tế tại khu vực để xây dựng các kịch bản mái dốc chịu mưa khác nhau nhằm đánh giá chính xác sự thay đổi của hệ số ổn định theo thời gian, xác định sớm các kịch bản mưa nguy hiểm để kịp thời ngăn ngừa và cảnh báo sự cố./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Bishop, A. W. (1959). *The principle of effective stress*. *Teknisk ukeblad*, 39, 859-863.
2. Bishop, A. W., & Blight, G. E. (1963). *Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils*. *Geotechnique*, 13(3), 177-197.
3. Brooks, R. H., & Corey, A. T. (1964). *Hydraulic properties of porous media (Doctoral dissertation, Colorado State University Libraries)*.
4. Fredlund, D. G., & Morgenstern, N. R. (1978). *Stress state variables for unsaturated soils*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 104(ASCE 14170 Proc Paper).
5. Mualem, Y. (1976). *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. *Water resources research*, 12(3), 513-522.
6. Phạm Huy Dũng (2019), *Luận án Tiến Sĩ, Nghiên cứu lý thuyết các đặc trưng cơ lý của đất ảnh hưởng đến ổn định mái dốc đất không bão hòa*.
7. Vanapalli, S. K. (2009, November). *Shear strength of unsaturated soils and its applications in geotechnical engineering practice*. In *Keynote Address. Proc. 4th Asia-Pacific Conf. on Unsaturated Soils*. New Castle, Australia (pp. 579-598).

## Tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng...

(tiếp theo trang 23)

Do  $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nb} = 0,8.2,9 = 2,3 \text{ kN}$  nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền nhỏ nhất khi chịu cắt

$$2,78 \text{ mm} < t_2 = 5 \text{ mm} < 19,1 \text{ mm} \rightarrow \text{Đạt.}$$

$$2,69 \text{ mm} < d_s = 4 \text{ mm} < 5,23 \text{ mm} \rightarrow \text{Đạt.}$$

Do PAF được lắp đặt vào thép cơ bản qua độ sâu 0,6t2 nên độ bền nhỏ nhất danh nghĩa do cắt được xác định theo công thức:

$$P_{nos} = \frac{d_{ae}^{1,8} t_2^{0,2} (F_y E^2)^{1/3}}{30} = \frac{4^{1,8} 5^{0,2} (250.203000^2)^{1/3}}{30}$$

$$= 12135 \text{ N} = 12,1 \text{ kN.}$$

Do  $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nov} = 0,6.12,1 = 7,3 \text{ kN}$  nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền xé rách tấm trên

Xé rách do cắt

$$d_h = 1,1 d_s = 1,1.4 = 4,4 \text{ mm.}$$

$$A_{nv} = 2nt_{e_{net}} = 2.1.0,5(25 - 4,4/2) = 22,8 \text{ mm}^2.$$

$$P_{nv} = 0,6F_u A_{nv} = 0,6.450.22,8 = 6156 \text{ N} = 6,2 \text{ kN.}$$

Do  $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nv} = 0,5.6,2 = 3,1 \text{ kN}$  nên liên kết đủ chịu lực.

Xé rách do kéo

$$A_{nt} = A_g - n_b d_h t = 30.0,5 - 1.4.4.0,5 = 12,8 \text{ mm}^2.$$

Tra bảng 2 có  $U_{sl} = 1$ .

$$\rightarrow A_e = U_{sl} A_{nt} = 1.12,8 = 12,8 \text{ mm}^2.$$

$$\rightarrow P_{nt} = F_u A_e = 450.12,8 = 5760 \text{ N} = 5,8 \text{ kN.}$$

Do  $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nt} = 0,5.5,8 = 2,9 \text{ kN}$  nên liên kết đủ chịu lực.

Kết luận chung: Liên kết đủ chịu lực.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Trên đây đã trình bày cấu tạo, các dạng phá hủy và tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng khi chịu kéo hoặc cắt. Các công thức tính toán chịu kéo hoặc cắt là rõ ràng, cụ thể. So với liên kết vít, liên kết PAF có thêm dạng phá hủy nhỏ nhất do cắt và không có dạng phá hủy xé rách do cắt khối. Tuy nhiên, tài liệu [3] chưa đưa ra cách tính toán PAF khi chịu cắt và kéo kết hợp. Ví dụ minh họa cho thấy việc tính toán liên kết PAFs là đơn giản và dễ áp dụng trong thực hành tính toán kết cấu công trình.

Các nhà sản xuất cần tiến hành các thí nghiệm để đưa ra giá trị độ bền nhỏ nhất danh nghĩa của các PAF khác nhau để các kỹ sư có số liệu tính toán. Cần có các nghiên cứu tiếp theo về trạng thái chịu lực kéo và cắt kết hợp trong PAF./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Powder-Actuated Tool Manufacturers' Institute Inc, *Powder-actuated fastening systems Basic Training Manual*, Saint Charles - Missouri, 2014.
2. Light Gauge Steel Engineers Association, *Technical Note on Cold-Formed Steel Construction*, Washington DC, 2001.
3. American Iron and Steel Institute, *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, Washington DC, 2016.
4. American Institute of Steel Construction, *Specification for Structural Steel Buildings*, Chicago, 2016.