

CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TIÊU CHUẨN 22TCN272-05

3.1 BỀ RỘNG DẢI TƯƠNG ĐƯƠNG ĐỐI VỚI CÁC LOẠI CẦU BẢN VÀ BỀ RỘNG CÁNH DÂM HỮU HIỆU

3.1.1 Bề rộng dải tương đương đối với các loại cầu bản

Các quy định sau đây được áp dụng cho các loại cầu bản bê tông đúc tại chỗ

Bề rộng tương đương theo làn của các dải dọc cho cả lực cắt và momen cho một làn, tức là hai đường của bánh xe đặt tải có thể được xác định như sau:

$$E = 250 + 0,42\sqrt{L_1 W_1} \quad (\text{Điều 4.6.2.3-1})$$

Bề rộng tương đương theo làn của các dải dọc cho cả lực cắt và momen với số làn chịu tải lớn hơn một có thể xác định như sau:

$$E = 2100 + 0,12\sqrt{L_1 W_1} \leq \frac{W}{N_L} \quad (\text{Điều 4.6.2.3-2})$$

Trong đó

E: Bề rộng tương đương (mm)

L_1 : chiều dài nhịp đã được điều chỉnh, lấy bằng giá trị nhỏ hơn của nhịp thực tế hoặc 18000mm

W_1 : bề rộng từ mép tới mép đã được điều chỉnh của cầu, được lấy bằng giá trị nhỏ hơn của bề rộng thực tế hoặc 18000 mm nếu chịu tải trọng trên nhiều làn, hoặc 9000 mm nếu chịu tải trên một làn (mm)

W: bề rộng vật lý mép-tới-mép của cầu (mm)

N_L : số làn thiết kế, lấy theo Điều 3.6.1.1.1 tiêu chuẩn 22TCN 272-05

Đối với cầu chéo, các hiệu ứng lực dọc có thể được giảm đi bằng hệ số r:

$$r = 1,05 - 0,25.\text{tg}\theta \leq 1,0 \quad (\text{Điều 4.6.2.3-3})$$

Trong đó:

θ : góc chéo (độ)

3.1.2 Bề rộng bản cánh dâm hữu hiệu

Khi không đủ điều kiện phân tích chính xác hơn, trừ khi có quy định khác, phải tính như dưới đây đối với trị số giới hạn của bề rộng bản bê tông, coi như bề rộng có hiệu trong tác dụng liên hợp để xác định sức kháng của trạng thái giới hạn. Khi tính độ võng cần xét trên cơ sở toàn bộ chiều rộng bản cánh dâm. Khi tính bề rộng bản cánh dâm có hiệu, chiều dài nhịp có hiệu có thể lấy bằng chiều dài nhịp thực tế đối với các nhịp đơn giản và bằng khoảng cách giữa các điểm thay đổi momen uốn (điểm uốn của biểu đồ momen) của tải trọng thường xuyên đối với các nhịp liên tục, thích hợp với cả momen âm và momen dương.

Đối với bề rộng bản cánh dầm có hiệu của các dầm giữa, có thể lấy bằng trị số nhỏ nhất của:

- 1/4 chiều dài nhịp hữu hiệu
- 12 lần độ dày trung bình của bản cộng với số lớn nhất của bề dày bản bụng dầm hoặc 1/2 bề rộng của bản cánh trên của dầm
- Khoảng cách trung bình của các dầm liền kề nhau

Đối với các dầm biên, bề rộng bản cánh dầm có hiệu có thể được lấy bằng $\frac{1}{2}$ bề rộng có hiệu của dầm trong kê bên, cộng thêm trị số nhỏ nhất của:

- 1/8 lần chiều dài nhịp hữu hiệu
- 6,0 lần độ dày trung bình của bản, cộng với số lớn hơn giữa 1/2 độ dày bản bụng dầm hoặc 1/4 bề rộng của bản cánh trên của dầm chính
- Bề rộng của phần hẫng

3.2 CƯỜNG ĐỘ KHÁNG UỐN CỦA MẶT CẮT TRONG TRẠNG THÁI GIỚI HẠN CƯỜNG ĐỘ

3.2.1 Nguyên tắc chung

Sức kháng tính toán của các cấu kiện bê tông phải được xác định dựa trên các điều kiện cân bằng và tương thích về biến dạng, lấy các hệ số sức kháng theo quy định của Điều 5.5.4.2 tiêu chuẩn 22TCN 272-05 và các giả thiết sau:

- Đối với các cấu kiện có cốt thép hoặc thép dự ứng lực dính bám hoàn toàn, hoặc trong chiều dài dính bám của các tao thép dự ứng lực mất dính bám cục bộ hoặc được bọc thì ứng biến tỷ lệ thuận với khoảng cách tính từ trục trung hòa, trừ các cấu kiện có chiều cao lớn thỏa mãn các yêu cầu của Điều 5.13.2 và trong các vùng không bình thường khác.
- Đối với các cấu kiện có các bó tao cáp dự ứng lực không dính bám hoàn toàn hay không dính bám một phần nghĩa là các tao thép trong ống bọc hay mất dính bám, sự chênh lệch về ứng biến giữa bó thép và mặt cắt bê tông cũng như ảnh hưởng của độ võng đối với yếu tố hình học của bó thép phải đưa vào tính toán ứng suất trong bó thép.
- Nếu bê tông không bị kiểm chế, ứng biến dulong được lớn nhất ở thớ chịu nén ngoài cùng không được lớn quá 0,003
- Nếu bê tông bị kiểm chế, ứng biến dulong được lớn nhất vượt quá 0,003 có thể được dùng nếu có sự chứng minh
- Ngoại trừ mô hình chống và giằng, ứng suất trong cốt thép phải dựa trên đường cong ứng suất – ứng biến đại diện của thép hay một giá trị toán học đại diện được chấp nhận, bao gồm dự khai triển của các cốt thép hay dự ứng lực và việc truyền dự ứng lực.
- Bỏ qua sức kháng kéo của bê tông

- Giả thiết biểu đồ ứng suất - ứng biến của bê tông chịu nén là hình chữ nhật, parabol hay bất cứ hình dạng nào khác đều phải dẫn đến sự dự tính về sức kháng vật liệu phù hợp về cơ bản với các kết quả thí nghiệm
- Phải xét đến sự khai triển của các cốt thép và cấp dự ứng lực và việc truyền dự ứng lực
- Phải nghiên cứu các giới hạn bổ sung về ứng biến nén cực trị của bê tông trong các cấu kiện chịu nén mặt cắt chữ nhật rỗng theo quy định của Điều 5.7.4.7

3.2.2 Phân bố ứng suất theo hình chữ nhật

Quan hệ tự nhiên giữa ứng suất bê tông chịu nén và ứng biến có thể coi như một khối hình chữ nhật tương đương cạnh bằng $0,85 f'_c$ phân bố trên một vùng giới hạn bởi mặt ngoài cùng chịu nén của mặt cắt và đường thẳng song song với trục trung hoà cách thớ chịu nén ngoài cùng một khoảng cách $a = \beta_1 c$. Khoảng cách c phải tính vuông góc với trục trung hoà. Hệ số β_1 lấy bằng 0,85 đối với bê tông có cường độ không lớn hơn 28 MPa. Với bê tông có cường độ lớn hơn 28 MPa, hệ số β_1 giảm đi theo tỷ lệ 0,05 cho từng 7 MPa vượt quá 28 MPa, nhưng không lấy nhỏ hơn trị số 0,65.

Phải nghiên cứu các giới hạn bổ sung khi sử dụng khối ứng suất chữ nhật đối với các cấu kiện chịu nén mặt cắt chữ nhật rỗng theo quy định của Điều 5.7.4.7.

3.2.3 Ứng suất trong cốt thép dự ứng lực ở mức sức kháng uốn danh định

Đối với các cấu kiện có cốt thép dự ứng lực dính bám với bê tông thông qua bê tông đúc có tiếp xúc trực tiếp với cốt thép đó hoặc tiếp xúc thông qua vữa phun. Như vậy các công nghệ dự ứng lực kéo trước và dự ứng lực kéo sau thông dụng đều thỏa mãn điều kiện dính bám.

Đối với mặt cắt hình chữ nhật và hình T chịu uốn quanh một trục, có ứng suất phân bố như quy định ở Điều 5.7.2.2 và f_{pe} không nhỏ hơn $0,5.f_{pu}$, ứng suất trung bình trong cốt thép, f_{ps} , có thể lấy như sau :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) \quad (\text{Điều 5.7.3.1.1-1})$$

Trong đó:

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) \quad (\text{Điều 5.7.3.1.1-2})$$

Công thức xác định vị trí trục trung hoà (tính toán chiều cao vùng bê tông chịu nén) xuất phát từ phương trình cân bằng hình chiếu lên phương ngang của nội lực trên mặt cắt ngang:

- Đối với mặt cắt hình T

$$c = \frac{A_{ps} f_{pu} + A_s f_y - A'_s f'_y - 0,85 \beta_1 f'_c (b - b_w) h_f}{0,85 f'_c \beta_1 b_w + k A_{ps} \frac{f_{pu}}{d_p}} \quad (\text{Điều 5.7.3.1.1-3})$$

– Đối với mặt cắt hình chữ nhật

$$c = \frac{A_{ps} f_{pu} + A_s f_y - A'_s f'_y}{0,85 f'_c \beta_1 b_w + k A_{ps} \frac{f_{pu}}{d_p}} \quad (\text{Điều 5.7.3.1.1-4})$$

Trong đó:

A_{ps} : diện tích mặt cắt cốt thép dự ứng lực(mm²)

f_{pu} : cường độ chịu kéo quy định của thép dự ứng lực(MPa)

f_{py} : giới hạn chảy của thép dự ứng lực(MPa)

A_s : diện tích cốt thép thường chịu kéo (mm²)

A'_s : diện tích cốt thép thường chịu nén (mm²)

f_y : giới hạn chảy của cốt thép chịu kéo (MPa)

f'_y : giới hạn chảy của cốt thép chịu nén (MPa)

b : chiều rộng của bản cánh chịu nén (mm)

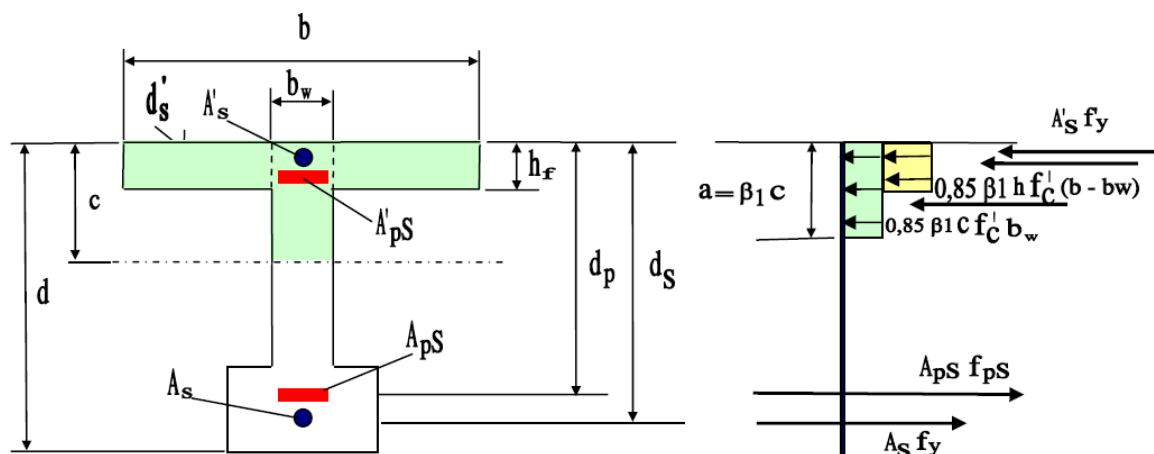
b_w : chiều rộng của bản bụng (mm)

h_f : chiều dày bản cánh chịu nén (mm)

d_p : khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến trọng tâm các bó thép dự ứng lực (mm)

c : khoảng cách từ trục trung hoà đến mặt chịu nén (mm)

β_1 : hệ số quy đổi hình khối ứng suất quy định ở Điều 5.7.2.2



Phải khảo sát mức ứng suất trong cốt thép chịu nén và nếu ứng suất trong cốt thép chịu nén không đạt giới hạn chảy thì ứng suất thực tế phải được dùng thay cho f'_y trong Phương trình 3.

3.2.4 Các nhận xét và phân tích

3.2.4.1 Về hệ số k

Hệ số k phụ thuộc vào bản chất cốt thép.

Ví dụ đối với cốt thép dự ứng lực cường độ cao cấp 270 theo Tiêu chuẩn 22TCN 272-05 thì:

- Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn: $f_{pu} = 1860 \text{ MPa} (18600 \text{ kG/cm}^2)$
- Giới hạn chảy: $f_{py} = 1581 \text{ MPa} (15810 \text{ kG/cm}^2)$

$$k = 2 \cdot \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \cdot \left(1,04 - \frac{1581}{1860} \right) = 0,38$$

3.2.4.2 Về xác định chiều cao vùng nén c

Trong thực tế tính toán trị số của c không thể âm, vì vậy:

- Nếu $c > h_f$ trực trung hòa đi qua sườn dầm, áp dụng công thức đối với mặt cắt chữ T
- Nếu $c \leq h_f$ trực trung hòa đi qua cánh dầm, áp dụng công thức đối với mặt cắt chữ nhật với $b_w = b$

Để tính toán chiều cao vùng nén, trước hết cần xác định trường hợp tính toán là trực trung hòa đi qua cánh dầm hay qua sườn dầm. Muốn vậy giả thiết trực trung hòa của mặt cắt ngang qua mép dưới bản chịu nén $\rightarrow$ xét bất đẳng thức:

$$\frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_s - A'_s \cdot f'_s}{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b + k \cdot A_{ps} \cdot \frac{f_{pu}}{d_p}} \leq h_f$$

Nếu sai $\rightarrow$ tính c theo mặt cắt chữ T, công thức (Điều 5.7.3.1.2-3)

Nếu đúng $\rightarrow$ tính c theo mặt cắt chữ nhật, công thức (Điều 5.7.3.1.2-4)

3.2.5 Điều kiện duyệt trạng thái giới hạn cường độ

Trạng thái giới hạn về cường độ yêu cầu phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$M_r = \phi M_n > M_u$$

Trong đó:

M_r : lực kháng uốn tính toán

M_n : lực kháng uốn danh định

M_u : momen tính toán thiết kế

ϕ : hệ số sức kháng (Điều 5.5.4.2)

$\phi = 1$ đối với trường hợp bê tông dự ứng lực chịu uốn

$\phi = 0,9$ đối với trường hợp bê tông cốt thép thường

Trong những trường hợp của kết cấu dự ứng lực một phần, giá trị ϕ có thể lấy như sau:

$$\phi = 0.90 + 0.10(\text{PPR}) \quad (\text{Điều 5.5.4.2.1-1})$$

Với PPR là tỷ lệ dự ứng lực một phần, được xác định theo công thức sau:

$$\text{PPR} = \frac{A_{ps} f_{py}}{A_{ps} f_{py} + A_s f_y}$$

A_s : diện tích cốt thép không dự ứng lực(mm²).

A_{ps} : diện tích thép dự ứng lực(mm²)

f_y : giới hạn chảy của cốt thép (MPa).

f_{py} : giới hạn chảy của thép dự ứng lực(MPa).

3.2.5.1 Mặt cắt có bản cánh (Chữ T, chữ I, hộp)

Với mặt cắt hình T chịu uốn quanh một trục và hai trục cùng với lực nén dọc trục như quy định ở Điều 5.7.4.5 và sự phân bố ứng suất lấy gần đúng như quy định ở Điều 5.7.2.2, với bố dự ứng lực có dính bám, và khi chiều dày bản cánh chịu nén nhỏ hơn c , xác định theo Phương trình 5.7.3.1.1-3, sức kháng uốn danh định của mặt cắt có thể xác định như sau :

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s f'_y \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) + 0,85 f'_c (b - b_w) \beta_1 h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right) \quad (\text{Điều 5.7.3.2.2-1})$$

Trong đó :

A_{ps} : diện tích thép dự ứng lực(mm²)

f_{ps} : ứng suất trung bình trong cốt thép dự ứng lực ở sức kháng uốn danh định, tính theo phương trình 5.7.3.1.1-1 (MPa)

d_p : khoảng cách từ thớ nén ngoài cùng đến trọng tâm cốt thép dự ứng lực (mm)

A_s : diện tích cốt thép chịu kéo không dự ứng lực(mm²).

f_y : giới hạn chảy quy định của cốt thép (MPa).

d_s : khoảng cách từ thớ nén ngoài cùng đến trọng tâm cốt thép chịu kéo không dự ứng lực (mm).

A'_s : diện tích cốt thép chịu nén (mm²)

f'_y : giới hạn chảy của cốt thép chịu nén (MPa)

d'_s : khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến trọng tâm cốt thép chịu nén (mm)

f'_c : cường độ chịu nén quy định của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa)

b : bề rộng của mặt chịu nén của cầu kiện (mm)

b_w : chiều dày của bản bụng hoặc đường kính của mặt cắt tròn (mm)

β_1 : hệ số chuyển đổi biểu đồ ứng suất quy định trong Điều 5.7.2.2

h_f : chiều dày bản cánh chịu nén của cầu kiện dầm I hoặc T (mm)

$a = c\beta_1$: Chiều dày của khối ứng suất tương đương (mm)

3.2.5.2 Mặt cắt chữ nhật

Đối với mặt cắt hình chữ nhật chịu uốn một trục và hai trục cùng với lực dọc trục như quy định ở Điều 5.7.4.5, khi công nhận sự phân bố ứng suất gần đúng như quy định ở Điều 5.7.2.2 và chiều dày bản cánh chịu nén không nhỏ hơn đại lượng c xác định theo Phương trình 5.7.3.1.1-3 thì sức kháng uốn danh định M_n có thể xác định theo các Phương trình từ 5.7.3.1.1-1, đến 5.7.3.2.2-1, trong đó b_w phải lấy bằng b .

Để tính giá trị M_n , tức lực kháng uốn danh định của một mặt cắt ngang dầm, đầu tiên cần xác định xem liệu mặt cắt này có dạng chữ nhật hay chữ T theo cách như đã trình bày ở trên

$$M_n = A_{ps}f_{ps}\left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s f'_y \left(d'_s - \frac{a}{2}\right)$$

Nếu mặt cắt dầm có dạng hình chữ nhật, cường độ được tính như sau:

Với f_{ps} - Ứng suất trung bình trong thép ở sức kháng danh định

Cho rằng $f_{ps} \geq 0.5f_{pu}$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{kc}{d_p}\right)$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

3.2.5.3 Các dạng mặt cắt khác

Với các loại mặt cắt không phải là mặt cắt hình chữ T hay thực chất là mặt cắt hình chữ nhật có trục thẳng đứng đối xứng hoặc mặt cắt chịu uốn hai trục không có lực dọc trục thì không thể sử dụng công thức lý tưởng hóa như đã nêu trong Tiêu chuẩn. Cần có một cách tiếp cận tổng quát hơn để tính sức kháng uốn danh định. Trong những trường hợp như vậy, việc áp dụng tính tương thích về biến dạng là cách hay được dùng nhất. Mặt cắt ngang dầm được chia thành từng lớp hình thang khác nhau đối với các loại vật liệu khác nhau và mỗi lớp cốt thép được mô hình hóa riêng biệt.

Khi đó sức kháng uốn tính toán M_n được xác định bằng giải tích dựa trên các giả thiết đã quy định ở Điều 5.7.2. Đồng thời phải áp dụng các yêu cầu của Điều 5.7.3.3.

3.3 CÁC GIỚI HẠN VỀ CỐT THÉP

3.3.1 Quy định về hàm lượng cốt thép tối đa

Hàm lượng thép giới hạn ở một mặt cắt nhất định được biểu thị qua độ cao giới hạn của trục trung hòa. Lượng thép có thể có trong một mặt cắt phải thỏa mãn sao cho chiều cao vùng bê tông chịu nén của mặt cắt không lớn hơn 42% độ cao tới trọng tâm của cốt thép chịu kéo.

Hàm lượng thép dự ứng lực và thép không dự ứng lực tối đa phải được giới hạn sao cho:

$$\frac{c}{d_e} \leq 0,42 \quad (\text{Điều 5.7.3.3.1-1})$$

Trong đó

$$d_e = \frac{A_{ps} f_{ps} d_p + A_s f_y d_s}{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y} \quad (\text{Điều 5.7.3.3.1-2})$$

Với

c : khoảng cách từ thớ chịu nén ngoài cùng đến trục trung hoà (mm)

d_e : khoảng cách hữu hiệu tương ứng từ thớ chịu nén ngoài cùng đến trọng tâm lực kéo của cốt thép chịu kéo (mm)

Nếu tỷ số trên đạt tới hạn thì mặt cắt được coi là quá nhiều thép. Mặt cắt bê tông cốt thép như đã nói là có chỉ số $PPR < 0.5$ không được phép quá nhiều thép. Tuy nhiên, nếu mặt cắt có dự ứng lực một phần hay dự ứng lực toàn phần (có $PPR \geq 0.5$) thì cho phép mặt cắt quá nhiều thép và phải đảm bảo là mặt cắt đủ độ dẻo.

3.3.2 Quy định về hàm lượng cốt thép tối thiểu

Trừ khi có các quy định khác, còn ở bất kỳ một mặt cắt nào đó của cầu kiện chịu uốn, lượng cốt thép thường và cốt thép dự ứng lực chịu kéo phải đủ để phát triển sức kháng uốn tính toán M_r ít nhất bằng 1 trong 2 giá trị sau, lấy giá trị nhỏ hơn:

- 1,2 lần sức kháng nứt được xác định trên cơ sở phân bố ứng suất đàn hồi và cường độ chịu kéo khi uốn, f_r , của bê tông theo quy định trong Điều 5.4.2.6, hoặc
- 1,33 lần mômen tính toán cần thiết dưới tổ hợp tải trọng - cường độ thích hợp quy định trong bảng 3.4.1.1.

Phải áp dụng các quy định của Điều 5.10.8.

Đối với các cầu kiện không có thép dự ứng lực thì lượng cốt thép tối thiểu quy định ở đây có thể coi là thỏa mãn nếu:

$$P_{min} \geq 0,03 \frac{f'_c}{f_y} \quad (\text{Điều 5.7.3.3.2-1})$$

Trong đó:

$P_{\min}$: tỷ lệ giữa thép chịu kéo và diện tích nguyên

f'_c : cường độ quy định của bê tông (MPa)

f_y : cường độ chảy dẻo của thép chịu kéo (MPa)

Đối với các dầm chữ T có bản bụng dầm chịu kéo, việc xác định tỷ lệ cốt thép thường thực tế ρ để so sánh với yêu cầu của Phương trình 1, phải căn cứ vào chiều rộng của bản bụng dầm.

3.4 KHÔNG CHẾ NÚT BẰNG SỰ PHÂN BỐ CỐT THÉP HỢP LÝ

Khi tính duyệt theo TTGH khai thác về không chế độ mở rộng vết nứt trong dầm BTCT chịu uốn thì dựa trên nguyên tắc là chiều rộng của vết nứt trong dầm chịu uốn được kiểm soát bằng sự phân bố cốt thép trong vùng bê tông chịu kéo lớn nhất.

Các quy định ở đây được áp dụng cho tất cả cốt thép của các cấu kiện bê tông cốt thép trừ bản mặt cầu được thiết kế theo Điều 9.7.2, trong đó sự kéo của mặt cắt ngang vượt quá 80% cường độ chịu kéo do uốn như quy định ở Điều 5.4.2.6, ở tổ hợp tải trọng trạng thái giới hạn sử dụng.

3.4.1 Tính ứng suất kéo cốt thép ở Trạng thái giới hạn sử dụng

Trước tiên cần tính toán trị số ứng suất kéo f_s trong cốt thép thường ở trạng thái giới hạn sử dụng

Nguyên tắc và trình tự tính toán như sau: Khi đó giả thiết kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, biểu đồ ứng suất vùng nén bê tông có dạng tam giác (chứ không phải là hình chữ nhật), diện tích cốt thép chịu nén và diện tích cốt thép chịu kéo được tính đổi sang diện tích bê tông bằng cách nhân với hệ số mô đun đàn hồi thép/bê tông. Từ các giả thiết này tính ra chiều cao vùng nén bê tông c , rồi tính ra các đặc trưng hình học tính đổi của mặt cắt (bỏ qua phần bê tông chịu kéo). Sau đó tính ra ứng suất bê tông ở thớ qua trọng tâm hàng cốt thép biên, nhân giá trị kết quả này với hệ số mô đun đàn hồi để tính ra giá trị của f_s .

Cũng có thể tính toán gần đúng bằng cách lấy giá trị chiều cao vùng nén bê tông là c theo kết quả tính toán mặt cắt ở TTGH cường độ.

3.4.2 Điều kiện kiểm toán về hạn chế vết nứt

Điều kiện kiểm toán là các cấu kiện phải được cấu tạo sao cho ứng suất kéo trong cốt thép thường ở trạng thái giới hạn sử dụng, f_{sa} , không vượt quá :

$$f_{sa} = \frac{Z}{(d_c A)^{1/3}} \leq 0,6f_y \quad (\text{Điều 5.7.3.4-1})$$

Trong đó

d_c : chiều cao phần bê tông tính từ thớ chịu kéo ngoài cùng cho đến tâm của thanh hay sợi thép chịu kéo đặt gần nhất; nhằm mục đích tính toán giá trị của d_c thì phải lấy chiều dày của lớp bê tông bảo vệ không được lớn hơn 50mm (mặc dù trong trường hợp thực tế lớp bê tông bảo vệ có thể dày đến 75mm để đủ chống ăn mòn trong môi trường bờ biển).

A : diện tích phần bê tông có cùng trọng tâm với cốt thép chủ chịu kéo và được bao bởi các mặt của mặt cắt ngang và đường thẳng song song với trục trung hoà, chia cho số lượng của các thanh hay sợi (mm^2); nhằm mục đích tính toán, phải lấy chiều dày tính của lớp bê tông bảo vệ không được lớn hơn 50 mm.

Z : thông số bề rộng vết nứt (N/mm).

Ngoại trừ đối với công hộp bê tông cốt thép đúc tại chỗ quy định dưới đây, đại lượng Z trong Phương trình 1 không được lấy vượt quá 30000 N/mm đối với các cầu kiện trong điều kiện môi trường thông thường, 23000 N/mm đối với các cầu kiện trong điều kiện môi trường khắc nghiệt và 17500 N/mm đối với các kết cấu vùi dưới đất. Đại lượng Z không được lấy vượt quá 23000 khi thiết kế theo phương ngang đối với các dầm hộp bê tông phân đoạn khi chịu tải bất kỳ trước khi đạt tới toàn bộ sức kháng danh định của bê tông.

Đối với các công hộp bê tông cốt thép đúc tại chỗ, đại lượng Z trong Phương trình 1 không được vượt quá:

$$Z = \frac{27500}{\beta} \quad (\text{Điều 5.7.3.4-2})$$

Trong đó:

$$\beta = \left(1 + \frac{d_c}{0,47d} \right) \quad (\text{Điều 5.7.3.4-3})$$

d: khoảng cách tính từ mặt chịu nén đến trọng tâm cốt thép chịu kéo (mm)

Cốt thép dự ứng lực dính bám có thể được tính vào trị số A, trong trường hợp này sự tăng ứng suất trong thép dự ứng lực dính bám vượt quá trạng thái giảm nén trước được tính trên cơ sở mặt cắt bị nứt hoặc phân tích sự tương đồng biến dạng không được vượt quá giá trị f_{sa} xác định từ Phương trình 1.

Ở các vị trí bản cánh của dầm bê tông cốt thép mặt cắt T hoặc hộp chịu kéo, ở trạng thái giới hạn sử dụng, cốt thép chịu kéo khi uốn phải phân bố trên một phạm vi, lấy theo trị số nhỏ hơn trong các trị số sau đây :

- Bề rộng hữu hiệu của bản cánh như quy định ở Điều 4.6.2.6 hoặc
- Một chiều rộng bằng 1/10 chiều dài trung bình của các nhịp lân cận.

Nếu bề rộng bản cánh hữu hiệu lớn hơn 1/10 chiều dài nhịp thì phải bố trí cốt thép dọc bổ sung ở phần ngoài của bản cánh với diện tích không nhỏ hơn 0,4% diện tích của bản nhô ra.

Nếu chiều dày hữu hiệu, d_c , của các cầu kiện bê tông cốt thép hoặc bê tông dự ứng lực một phần lớn hơn 900 mm, thì phải bố trí cốt thép dọc tạo vỏ phân bố đều theo dọc cả 2 mặt của cầu kiện trong một khoảng $d/2$ gần cốt thép chịu kéo uốn nhất.

Diện tích của cốt thép vỏ A_{sh} tính bằng mm^2/mm theo chiều cao trên mỗi mặt không nhỏ hơn :

$$A_{sh} \geq 0,001(d_e - 760) \leq \frac{A_s + A_{ps}}{1200} \quad (\text{Điều 5.7.3.4-4})$$

Trong đó:

A_{ps} : diện tích của thép dự ứng lực (mm^2)

A_s : diện tích cốt thép thường chịu kéo (mm^2)

d_e : tay đòn uốn lấy bằng cự ly từ mặt chịu nén đến trọng tâm thép (mm).

Cự ly giữa các cốt thép của lưới thép vỏ không vượt quá $d/6$ hoặc 300 mm.

Các cốt thép này có thể tính vào chịu lực nếu việc phân tích tương đương biến dạng được tiến hành để xác định ứng suất trong từng thanh riêng biệt.

Tóm lại về mặt nguyên lý chung, biện pháp để giảm độ mở rộng vết nứt là dùng cốt thép có đường kính nhỏ và đặt rời rạc từng thanh.

Theo công thức điều 5.7.3.4-1 ở trên, nếu cốt thép nhỏ, cự ly các cốt thép vừa phải, dẫn tới A nhỏ thì f_{sa} sẽ tăng. Như vậy cũng đạt mục tiêu phân bố đều phạm vi ảnh hưởng của cốt thép.

3.5 CÁC MẤT MẤT DỰ ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU BTCT DỰ ỨNG LỰC

3.5.1 Tổng mất mát ứng suất

Thay vì phân tích chi tiết hơn, các mất mát dự ứng suất trong các cấu kiện được xây dựng và được tạo dự ứng lực trong một giai đoạn duy nhất có thể lấy bằng

Trong các cấu kiện kéo trước

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR2}$$

Trong các cấu kiện kéo sau

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR2}$$

Trong đó:

Δf_{pT} = tổng mất mát (MPa)

Δf_{pF} = mất mát do ma sát (MPa)

Δf_{pA} = mất mát do thiết bị neo (MPa)

Δf_{pES} = mất mát do co ngắn đàn hồi (MPa)

Δf_{pSR} = mất mát do co ngót (MPa)

Δf_{pCR} = mất mát do từ biến của bê tông (MPa)

Δf_{pR2} = mất mát do tự chùng (dão) của cốt thép dự ứng lực (MPa)

3.5.2 Các mất mát ứng suất tức thời (đàn hồi)

3.5.2.1 Mất mát do thiết bị neo

Độ lớn của mất mát do thiết bị neo phải là trị số lớn hơn số yêu cầu để không chế ứng suất trong thép dự ứng lực khi truyền, hoặc số kiến nghị bởi nhà sản xuất

neo. Độ lớn của mất mát do thiết bị neo giả thiết để thiết kế và dùng để tính mất mát của thiết bị phải được chỉ ra trong hồ sơ hợp đồng và kiểm chứng trong khi thi công.

Khi thiết kế khi không có số liệu của nhà sản xuất neo thì có thể tham khảo các thiết kế thực tế có thể tính theo công thức sau

$$\Delta f_{pA} = \frac{\sum \Delta}{L_{tb}} E_p$$

Trong đó:

$\Sigma \Delta$ - tổng dịch chuyển tương đối giữa cốt thép và neo lấy bằng 5 mm cho mỗi neo.

L_{tb} - chiều dài trung bình của các bó cốt thép DUL $L_{tb} = \Sigma L_i / N$ (mm)

E_p - mô đun đàn hồi của cốt thép DUL lấy bằng $1.97 \cdot 10^5$ MPa.

* Thực tế thiết kế cho thấy trị số mất mát ứng suất do thiết bị neo là không lớn lắm có thể tham khảo trị số sau:

- Chiều dài tụt neo $2 \times 5\text{mm} = 10\text{mm}$

- Chiều dài cáp trung bình $35,2\text{m} = 35\,200\text{ mm}$

- Mô đun đàn hồi $E_p = 1,97 \cdot 10^5 \text{ MPa} = 1,97 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

→ $\Delta f_{pA} = 10 \cdot 1,97 \cdot 10^5 / 35200 = 55.966 \text{ N/mm}^2 = 55.966 \text{ MPa}$

3.5.2.2 Mất mát ứng suất do ma sát

3.5.2.2.1 Với cấu kiện căng trước

Tiêu chuẩn thiết kế qui định với các bó cốt thép DUL dẹt cần phải xét tới mất mát ứng suất có thể xảy ra ở các thiết bị kẹp neo. Như vậy:

- Với các bó cốt thép DUL thẳng: $\Delta f_{pF} = 0$.

- Các bó cốt thép xiên nhưng có tiết diện tròn: $\Delta f_{pF} = 0$.

3.5.2.2.2 Với cấu kiện căng sau

Mất mát ứng suất do ma sát giữa cốt thép và thành ống bọc được tính theo công thức sau:

$$\Delta f_{pF} = f_{pj}(1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)})$$

Mất mát ứng suất do ma sát giữa cốt thép ngoài và ống chuyển hướng:

$$\Delta f_{pF} = f_{pj}(1 - e^{-\mu(\alpha + 0.04)})$$

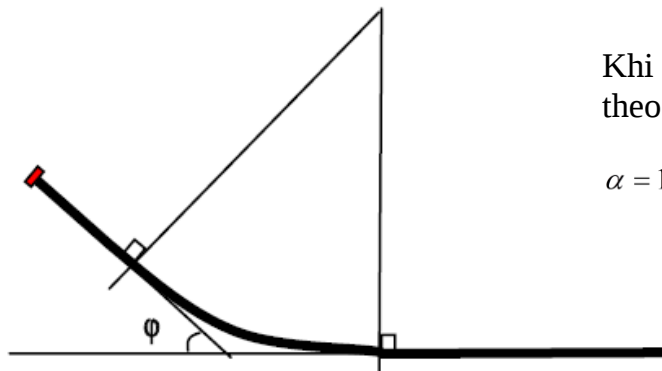
Trong đó:

f_{pj} = ứng suất trong thép dự ứng lực khi kích (MPa), lấy bằng $0,8f_{pu}$

x = chiều dài bó thép DUL đo từ đầu kích đến điểm bất kỳ đang xem xét (mm)

e = cơ số lôgarit tự nhiên (Nape), $e = 2,71828$

α = tổng của giá trị tuyệt đối của thay đổi góc của đường trục cáp thép dự ứng lực tính từ đầu kích, hoặc từ đầu kích gần nhất nếu thực hiện căng cả hai đầu, đến điểm đang xem xét (RAD)



Khi φ tính bằng độ, đổi ra α (RAD) theo công thức sau:

$$\alpha = 180 \frac{\varphi}{\pi}$$

K = hệ số ma sát lặc (trên mỗi mm của bó thép), lấy theo Bảng 3.1

μ = hệ số ma sát giữa cốt thép và thành ống, lấy theo Bảng 3.1

Bảng 3.1: Hệ số ma sát cho các bó thép kéo sau

Loại thép	Các ống bọc	K	μ
Sợi hay tạo	Ống thép mạ cứng hay nửa cứng	$6,6 \times 10^{-7}$	0,15 – 0,25
	Vật liệu Polyethylne	$6,6 \times 10^{-7}$	0,23
	Các ống chuyển hướng bằng thép cứng cho bó thép ngoài	$6,6 \times 10^{-7}$	0,25
Thanh cường độ cao	Ống thép mạ	$6,6 \times 10^{-7}$	0,30

3.5.2.3 Mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi

3.5.2.3.1 Với cấu kiện căng trước

Mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi trong các cấu kiện kéo trước phải lấy bằng:

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

Trong đó :

f_{cgp} = tổng ứng suất trong bê tông ở thớ đi qua trọng tâm của các bó cốt thép DUL do lực DUL sau khi kích và trọng lượng bản thân cấu kiện tại mặt cắt có mô men lớn nhất (MPa)

E_p = mô đun đàn hồi của thép dự ứng lực (MPa)

E_{ci} = mô đun đàn hồi của bê tông lúc truyền lực (MPa)

Đối với các cầu kiện kéo trước của thiết kế thông thường f_{cgp} có thể tính trên cơ sở ứng suất trong cốt thép dự ứng lực được giả định bằng $0,65f_{pu}$ đối với loại tạo thép được khử ứng suất dư và thanh thép cường độ, và $0,70f_{pu}$ đối với loại bó thép tự chùng thấp (ít dãn).

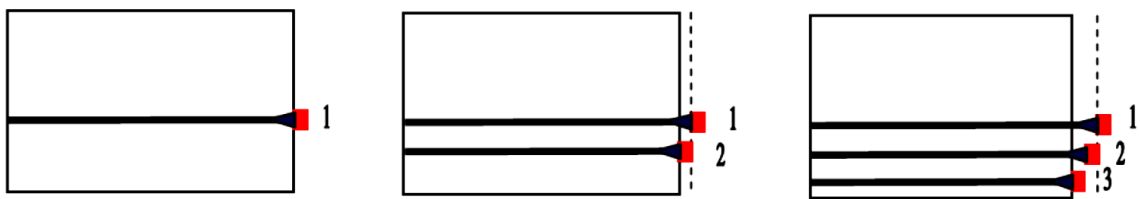
Đối với các cầu kiện thiết kế không thông dụng cần dùng các phương pháp chính xác hơn được dựa bởi nghiên cứu hoặc kinh nghiệm.

3.5.2.3.2 Với cầu kiện căng sau

Mất mát ứng suất do co ngót đàn hồi có bản chất là các bó kéo sau sẽ gây mất mát ứng suất cho các bó căng trước đó.

Như vậy nếu các bó được căng kéo cùng một lúc thì $\Delta f_{pES} = 0$

Bó cốt thép kéo đầu tiên sẽ có mất mát ứng suất do co ngót đàn hồi lớn nhất



Hình 3.1: Mất mát do co ngót đàn hồi trong quá trình căng thép DUL

Mất mát ứng suất do co ngót đàn hồi trong các cầu kiện kéo sau phải lấy bằng (không áp dụng cho hệ thống bản):

$$\Delta f_{pES} = \frac{N-1}{2N} \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

Trong đó

E_p = mô đun đàn hồi của thép DUL $E_p = 1,97 \cdot 10^5 \text{ MPa} = 1,97 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

E_{ci} = mô đun đàn hồi của bê tông tại thời điểm kéo căng thép DUL (MPa)

N = số lượng các bó thép dự ứng lực giống nhau.

f_{cgp} = tổng ứng suất trong bê tông ở thời đi qua trọng tâm của các bó cốt thép DUL sau khi kích và trọng lượng bản thân cầu kiện tại mặt cắt có mô men lớn nhất (MPa)

$$f_{cgp} = \frac{F}{A} + \frac{Fe^2}{I_g} - \frac{M_{TLBT}^{max}}{I_g} e$$

Với

F - lực nén dọc cầu kiện do DUL gây ra ở thời điểm sau khi kích tức là đã xảy ra các mất mát ứng suất do ma sát và tụt neo:

$$F = (f_{pj} - f_{pA} - f_{pF}) A_{pS}$$

A - diện tích toàn bộ của mặt cắt ngang dầm.

e - độ lệch tâm của trọng tâm của các bó cốt thép DUL so với trục trung hòa của tiết diện.

A_{ps} - tổng diện tích của các bó cốt thép DUL

3.5.3 Ước tính gần đúng toàn bộ mất mát ứng suất theo thời gian

3.5.3.1 Mất mát ứng suất do co ngót

Mất mát ứng suất do co ngót có thể lấy bằng:

Với cấu kiện kéo trước: $\Delta f_{pSR} = (117 - 1,03 H) \text{ (MPa)}$

Với cấu kiện kéo trước: $\Delta f_{pSR} = (93 - 0,85 H) \text{ (MPa)}$

Trong đó

H là độ ẩm tương đối của môi trường, lấy trung bình hàng năm (%). Với điều kiện khí hậu Việt Nam có thể lấy $H=80\%$

3.5.3.2 Mất mát ứng suất do từ biến

Mất mát dự ứng suất do từ biến có thể lấy bằng :

$$\Delta f_{pCR} = 12,0 f_{cgp} - 7,0 \Delta f_{cdp} \geq 0$$

trong đó :

f_{cgp} = ứng suất bê tông tại trọng tâm thép dự ứng lực lúc truyền lực (MPa)

Δf_{cdp} = thay đổi ứng suất bê tông tại trọng tâm thép dự ứng lực do tải trọng thường xuyên, trừ tải trọng tác động vào lúc thực hiện lực dự ứng lực. Giá trị Δf_{cdp} cần được tính ở cùng mặt cắt hoặc các mặt cắt được tính f_{cgp} (MPa)

Như vậy đối với kết cấu nhịp thì phần ứng suất này có thể coi như do tĩnh tải lớp phủ, lan can, gờ chắn và các tiện ích công cộng khác gây ra.

3.5.3.3 Mất mát ứng suất do tự chùng

Mất mát ứng suất do hiện tượng tự chùng của cốt thép DUL là sự giảm ứng suất trong trạng thái biến dạng không thay đổi có nguyên nhân do sự sắp xếp lại mạng tinh thể của vật liệu cấp.

$$\Delta f_{pR} = \Delta f_{pR1} + \Delta f_{pR2}$$

3.5.3.3.1 Mất mát tại thời điểm truyền lực

❖ Đối với tạo thép được khử ứng suất:

$$\Delta f_{pR1} = \frac{\log(24,0t)}{10,0} \left[\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0,55 \right] f_{pj}$$

❖ Đối với tạo thép tự chùng ít:

$$\Delta f_{pR1} = \frac{\log(24,0t)}{40,0} \left[\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0,55 \right] f_{pj}$$

trong đó :

t = thời gian tính bằng ngày từ lúc tạo ứng suất đến lúc truyền (Ngày). Thời gian t phụ thuộc vào công nghệ thi công, thông thường có thể lấy $t=4$ ngày

f_{pj} = ứng suất ban đầu trong bó thép ở thời điểm kết thúc kéo căng (MPa)

f_{py} = cường độ chảy quy định của thép dự ứng lực (MPa)

3.5.3.3.2 Mất mát sau khi truyền lực

- ❖ Đối với tảo thép được khử ứng suất, kéo trước:

$$\Delta f_{pR2} = 138 - 0,4\Delta f_{pES} - 0,2(\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR})$$

- ❖ Đối với tảo thép được khử ứng suất, kéo sau:

$$\Delta f_{pR2} = 138 - 0,3\Delta f_{pF} - 0,4\Delta f_{pES} - 0,2(\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR})$$

Trong đó :

Δf_{pF} = mất mát do ma sát ở điểm xem xét

Δf_{pES} = mất mát do co ngắn đàn hồi (MPa)

Δf_{pSR} = mất mát do co ngót (MPa)

Δf_{pCR} = mất mát do từ biến (MPa)

- ❖ Đối với tảo thép độ tự chùng ít: lấy bằng 30% của Δf_{pR2} ở trên

3.6 TÍNH TOÁN CẦU KIẾN DỰ ỨNG LỰC THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN SỬ DỤNG VỀ CHỐNG NÚT

3.6.1 Nguyên tắc chung

Khi tính toán theo trạng thái giới hạn sử dụng đối với kết cấu BTCT DUL. Các ứng suất bê tông ở các thớ biên của mặt cắt bất kỳ có thể được tính trên cơ sở giả thiết về mặt cắt không nứt, làm việc trong giai đoạn đàn hồi

Công thức tổng quát tính ứng suất đó là:

$$f_c = -\frac{P_d}{A_g} \pm \frac{P_d \cdot e}{I_g} \cdot y \mp \frac{M_g}{I_g} \cdot y \mp \frac{M_c}{I_c} \cdot y_c$$

Trong đó

Dấu (+) dùng cho thớ trên cùng

Dấu (-) dùng cho thớ dưới cùng

f_c = ứng suất nén trong bê tông tại vị trí đang xét

P_d = lực nén do DUL

A_g = diện tích mặt cắt ngang

I_g = momen quán tính mặt cắt chưa liên hợp

e = độ lệch tâm của DUL

M_g = momen do tải trọng ngoài tác dụng lên mặt cắt chưa liên hợp

M_c = momen do tải trọng ngoài tác dụng lên mặt cắt liên hợp

y = khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt chưa liên hợp đến thớ cần tính ứng suất

y_c = khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt liên hợp đến thớ cần tính ứng suất

Yêu cầu : $f_c \leq 0,45 f'_c$

với f'_c là cường độ chịu nén thiết kế của bê tông, hệ số 0,45 là hệ số điều kiện làm việc lấy theo Bảng 3.4 (Bảng 5.9.4.2.1-1 của tiêu chuẩn)

Và yêu cầu không có ứng suất kéo

3.6.2 Các đặc trưng mặt cắt

Đối với các đặc trưng mặt cắt trước khi có liên kết của các bó thép kéo sau, việc giảm thiểu diện tích do các ống bọc hở phải được xét đến.

Đối với cả hai bộ phận kéo trước và kéo sau sau khi các bó thép liên kết thì các đặc trưng mặt cắt có thể dựa trên mặt cắt nguyên hoặc mặt cắt tính đối.

3.6.3 Các giới hạn ứng suất cho các bó thép dự ứng lực

Ứng suất bó thép do dự ứng lực, hoặc ở trạng thái giới hạn sử dụng không được vượt quá các giá trị :

- Lấy theo Quy định ở Bảng 3.2 (Điều 5.9.3), hoặc
- Theo khuyến nghị của nhà sản xuất các bó thép và neo.

Bảng 3.2: Các giới hạn ứng suất cho các bó thép dự ứng lực

Điều kiện	Loại bó thép		
	Tao thép đã được khử ứng suất dư, các thanh cường độ cao trơn nhẵn	Tao thép có độ tự chùng thấp	Các thanh có gờ cường độ cao
Căng trước			
Ngay trước khi truyền lực ($f_{pt} + \Delta f_{pES}$)	0,70 f_{pu}	0,75 f_{pu}	-
Ở TTGH sử dụng sau khi đã tính toàn bộ mất mát (f_{pe})	0,80 f_{py}	0,80 f_{py}	0,80 f_{py}
Căng sau			
Trước khi đệm neo – có thể cho phép dùng f_s ngắn hạn	0,90 f_{py}	0,90 f_{py}	0,90 f_{py}
Tại các neo và các bộ phận nối cáp ngay sau bộ neo ($f_{pt} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pA}$)	0,70 f_{pu}	0,70 f_{pu}	0,70 f_{pu}
Ở cuối vùng mất mát ở tâm đệm neo ngay sau bộ neo ($f_{pt} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pA}$)	0,70 f_{pu}	0,74 f_{pu}	0,70 f_{pu}
Ở TTGH sử dụng sau toàn bộ mất mát	0,80 f_{py}	0,80 f_{py}	0,80 f_{pu}

Ứng suất bó thép ở các trạng thái giới hạn cường độ và đặc biệt không được vượt quá giới hạn cường độ kéo cho trong bảng sau:

Vật liệu	Loại hoặc cấp thép	Đường kính (mm)	Cường độ chịu kéo min, f_{pu} (MPa)	Cường độ chảy min, f_{py} (MPa)
Tạo cáp thép	1725MPa (Grade 250)	6,35 ÷ 15,24	1725	85% f_{pu} , ngoại trừ 90% f_{pu} đối với tạo tự chùng thấp
	1860MPa (Grade 270)	9,35 ÷ 15,29	1860	
Thép thanh	Loại 1, tròn trơn	19 ÷ 35	1035	85% f_{pu}
	Loại 2, có gờ	15 ÷ 36	1035	80% f_{pu}

3.6.4 Các giới hạn ứng suất đối với bê tông trong kết cấu dự ứng lực

3.6.4.1 Đối với các ứng suất tạm thời trước khi xảy ra các mất mát - Các cấu kiện dự ứng lực toàn phần

3.6.4.1.1 Ứng suất nén

Giới hạn ứng suất nén đối với các cấu kiện bê tông căng trước và căng sau, kể cả các cầu xây dựng theo phân đoạn, phải lấy bằng $0,60 f'_{ci}$ (MPa) .

3.6.4.1.2 Ứng suất kéo

Phải áp dụng các giới hạn trong

Bảng 3.3 đối với các ứng suất kéo. Để áp dụng điều này, diện tích bên ngoài của vùng chịu kéo do nén dọc trước phải được xem xét theo các vị trí nêu dưới đây trong hình dạng cuối cùng của kết cấu.

- Vùng chịu nén nghĩa là từ mặt trên của bản tới trục trung hoà của mặt cắt nguyên của bê tông ở cách gối đỡ 70% chiều dài nhịp đối với các nhịp cuối hoặc các nhịp có khớp.
- Vùng chịu nén nghĩa là từ mặt trên của bản tới trục trung hoà của mặt cắt nguyên của bê tông nằm trong khoảng 60% ở phần giữa của các nhịp bên trong.
- Vùng chịu nén nghĩa là từ đáy của bản tới trục trung hoà của mặt cắt nguyên của bê tông trong khoảng 25% chiều dài nhịp kể từ các trụ về mỗi phía.

Tailieu.vn

Bảng 3.3: Các giới hạn ứng suất kéo tạm thời trong bê tông dự ứng lực trước mất mát, đối với các cấu kiện dự ứng lực toàn phần

Loại cầu	Vị trí	Giới hạn ứng suất
Không phải các cầu được xây dựng phân đoạn	Trong vùng kéo của cấu kiện bị nén trước. không có cốt thép dính bám.	Không có
	Trong các vùng khác với các vùng chịu kéo của cấu kiện bị nén trước và không có cốt thép phụ dính bám.	$0,25 \sqrt{f'_{ci}} \leq 1,38(\text{MPa})$
	Trong các vùng có cốt thép dính bám, đủ để chịu 120% lực kéo khi bê tông bị nứt được tính toán trên cơ sở một mặt cắt không nứt.	$0,58 \sqrt{f'_{ci}} (\text{MPa})$
	Để tính ứng suất cẩu lắp trong các cọc dự ứng lực.	$0,415 \sqrt{f'_c} (\text{MPa})$
Các cầu được xây dựng phân đoạn	Ứng suất dọc thông qua các mối nối trong vùng kéo của cấu kiện chịu nén trước - Các mối nối loại A với lượng tối thiểu cốt thép phụ có dính bám chạy qua các mối nối, đủ để chịu lực kéo tính toán ở ứng suất $0.5 f_{sy}$; với các bó thép ở trong hoặc ở ngoài. - Các mối nối loại A không có lượng tối thiểu cốt thép phụ có dính bám chạy qua các mối nối. - Các mối nối loại B với bó thép ở ngoài	$0,25 \sqrt{f'_{ci}}$ lực kéo max (MPa) Không cho kéo 0,7 MPa lực nén min
	Ứng suất theo phương ngang qua các mối nối Đối với mọi loại mối nối	$0,25 \sqrt{f'_{ci}} (\text{MPa})$
	Ứng suất trong các khu vực khác - Đối với các diện tích không có cốt thép thường dính bám. - Cốt thép dính bám đủ để chịu lực kéo tính toán trong bê tông được tính theo giả thiết mặt cắt không bị nứt với ứng suất bằng $0,5f_{sy}$	Không cho kéo $0,5 \sqrt{f'_{ci}} (\text{MPa})$