

## GIỚI HẠN HÀM LƯỢNG CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU BTCT CHỊU UỐN THEO TCVN 5574 : 2018

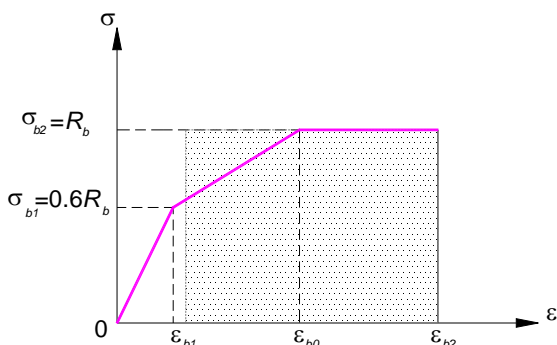
TS. NGUYỄN NGỌC BÁ

Công ty TNHH THAM & WONG (Việt Nam)

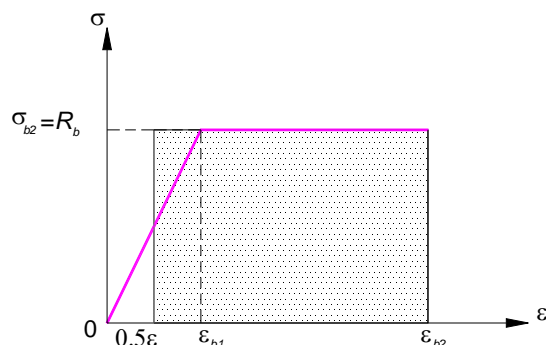
Tóm tắt: Tiêu chuẩn Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2018 (ban hành 2018) đã có nội dung mới về quan hệ ứng suất-biến dạng của bê tông và cốt thép mà tiêu chuẩn cũ không đề cập tới. Từ mối quan hệ này và các quy định của tiêu chuẩn, bài báo đã thiết lập giới hạn hàm lượng cốt thép chịu kéo lớn nhất đối với tiết diện chịu uốn đặt cốt đơn, cũng như giới hạn hàm lượng cốt thép chịu kéo nhỏ nhất đảm bảo cốt thép không bị kéo đứt trước khi đạt tới trạng thái giới hạn bền theo tính toán. Do một số phần mềm kết cấu hiện nay không tự động xử lý các giới hạn nêu trên nên các bảng tra được thiết lập ở bài báo này sẽ hữu ích trong việc lựa chọn bố trí cốt thép cho cấu kiện chịu uốn phù hợp, đảm bảo tuân thủ các yêu cầu của tiêu chuẩn.

Abstract: The new standard for design of concrete and reinforced concrete structures TCVN 5574:2018 has new contents about the stress-strain relationships of concrete and reinforcement which were not available in the previous version of this standard. From these relationships and other requirements in the standard, the maximum tension reinforcement percentage of singly reinforced sections has been calculated, as well as the minimum tension reinforcement percentage necessary to ensure the reinforcement will not be broken before the ultimate limit state can be reached has been established in this paper. As some structural softwares do not check the above limits, those limit tables given in this paper would be useful in designing reinforcement for the flexural members appropriately to comply with the requirements in the standard.

### 1. Mở đầu



a) Biểu đồ 3 đoạn thẳng



b) Biểu đồ 2 đoạn thẳng

Hình 1. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông theo TCVN 5574:2018

Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [1] được chuyển dịch từ tiêu chuẩn CP 63.13330.2012 [2] của Liên bang Nga với một số phần được lược bỏ so với phiên bản gốc, ví dụ như chương 11 của bản gốc liên quan tới các vấn đề về thi công và quản lý chất lượng bê tông không được chuyển dịch, hay một số phụ lục được bổ sung, sắp xếp lại,... So với tiêu chuẩn cũ TCVN 5574:2012 [3] tiêu chuẩn mới có một số thay đổi, trong đó việc đưa biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông (biểu đồ  $\sigma_c - \epsilon_c$ ) vào trong tiêu chuẩn là một thay đổi có ý nghĩa lớn trong việc hội nhập với các phương pháp thiết kế của các tiêu chuẩn tiên tiến trên thế giới. Ngoài ra, hiện nay một số phần mềm tính toán như Etabs đã cập nhật mô đun thiết kế theo tiêu chuẩn CP 63.13330.2012 nên việc ứng dụng vào công tác thiết kế theo TCVN 5574:2018 sẽ rất thuận tiện. Tuy nhiên việc áp dụng kết quả tính từ phần mềm cần được kiểm soát vì nhiều phần mềm không xử lý hết các giới hạn nêu trong tiêu chuẩn. Một trong các vấn đề cần kiểm soát là hàm lượng cốt thép trong cấu kiện chịu uốn phải thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn để đảm bảo cốt thép không bị kéo đứt trước khi cấu kiện đạt khả năng chịu lực tính toán, cũng như cấu kiện không bị phá hoại giòn khi cốt thép chưa đạt giới hạn chảy mà bê tông đã bị phá hoại.

### 2. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông

TCVN 5574:2018 cho phép sử dụng ba loại biểu đồ  $\sigma_c - \epsilon_c$  bao gồm biểu đồ đường cong nêu ở phụ lục B của tiêu chuẩn, biểu đồ ba đoạn thẳng (hình 1a) và biểu đồ hai đoạn thẳng (hình 1b), đối với bê tông nặng thì khuyến cáo sử dụng biểu đồ ba đoạn thẳng hoặc hai đoạn thẳng để đơn giản hóa tính toán.

## KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Từ biểu đồ 3 đoạn thẳng và biểu đồ 2 đoạn thẳng có thể quy đổi về biểu đồ hình chữ nhật tương đương như minh họa ở hình 1. Do các công thức tính toán của TCVN 5574:2018 sử dụng biểu đồ chữ nhật với giá trị ứng suất lấy bằng  $R_b$  nên biểu đồ quy đổi này là biểu đồ tương đương về diện tích (tương đương về lực), với hình chữ nhật được giới hạn bởi một cạnh là  $\varepsilon_{b2} - \varepsilon_r$  và cạnh kia là  $R_b$ . Thông số hữu ích của biểu đồ hình chữ nhật tương đương là hệ số tỷ lệ  $\lambda = (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_r) / \varepsilon_{b2}$ , đây chính là tỷ số giữa chiều cao vùng chịu nén  $x$ , trong các công thức tính toán theo độ bền, chia cho chiều sâu trục trung hòa  $c$ . Mặc dù các công thức tính toán theo độ bền nêu ở các chương 7 và 8 của TCVN 5574:2018 vẫn sử dụng biểu đồ hình chữ nhật nhưng trong tiêu chuẩn không nêu rõ hệ số  $\lambda$  này bằng bao nhiêu, trong khi đó tiêu chuẩn các nước như tiêu chuẩn châu Âu EN 1992 [4], tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50010 [5] hay tiêu chuẩn Mỹ ACI 318 [6] đều có quy định rõ giá trị của hệ số này.

Đối với bê tông thông thường có cấp độ bền không quá B60, giá trị biến dạng giới hạn  $\varepsilon_{b2}$  bằng

0,0035, đối với bê tông cường độ cao thì  $\varepsilon_{b2}$  giảm dần từ 0,0033 ứng với B70 xuống còn 0,0028 ứng với B100. Giá trị biến dạng giới hạn của bê tông quy định trong TCVN 5574:2018 nhìn chung tương tự giá trị biến dạng giới hạn của bê tông quy định trong EN 1992, chỉ có giá trị biến dạng giới hạn đối với bê tông cường độ cao thì EN 1992 có nhiều giá trị khác nhau tùy thuộc vào dạng quan hệ ứng suất-biến dạng được sử dụng. Tiêu chuẩn GB 50010 quy định giá trị biến dạng giới hạn của bê tông bằng 0,0033 đối với bê tông mác không quá C50 (mác theo cường độ khối lập phương), giảm dần về 0,003 đối với bê tông mác C80, còn tiêu chuẩn ACI 318 quy định giá trị biến dạng giới hạn của bê tông bằng 0,003 không phụ thuộc mác bê tông.

Từ biểu đồ 2 đoạn thẳng có thể xác định được giá trị  $\varepsilon_r$  chính là  $\varepsilon_{b1}/2$  còn đối với biểu đồ 3 đoạn thẳng việc xác định giá trị  $\varepsilon_r$  phức tạp hơn do giá trị  $\varepsilon_{b1}$  biến thiên theo cấp độ bền bê tông, còn  $\varepsilon_{b0} = 0,002$ . Kết quả tính  $\lambda$  từ hai biểu đồ ở hình 1 cho các cấp độ bền khác nhau được thể hiện ở bảng 1 dưới đây.

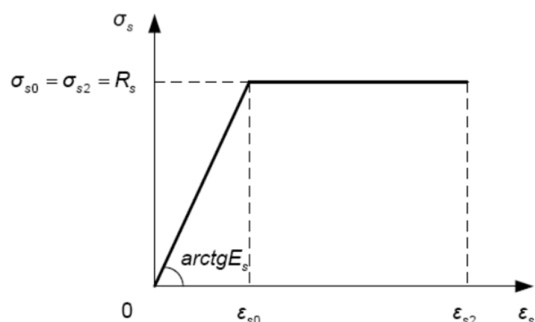
**Bảng 1. Các giá trị  $\lambda$  rút ra từ biểu đồ 3 đoạn thẳng và biểu đồ 2 đoạn thẳng**

Cấp độ bền bê tông	$R_b$ (MPa)	$E_b$ (GPa)	$\varepsilon_{b2}$ (%)	Từ biểu đồ 3 đoạn thẳng			Từ biểu đồ 2 đoạn thẳng	
				$\varepsilon_{b1}$ (%)	$\varepsilon_{b0}$ (%)	$\lambda$	$\varepsilon_{b1}$ (%)	$\lambda$
B20	11,5	27,5	3,5	0,251	2,0	0,850	1,5	0,786
B25	14,5	30,0	3,5	0,290	2,0	0,844	1,5	0,786
B30	17,0	32,5	3,5	0,314	2,0	0,841	1,5	0,786
B35	19,5	34,5	3,5	0,339	2,0	0,837	1,5	0,786
B40	22,0	36,0	3,5	0,367	2,0	0,833	1,5	0,786
B45	25,0	37,0	3,5	0,405	2,0	0,828	1,5	0,786
B50	27,5	38,0	3,5	0,434	2,0	0,824	1,5	0,786
B55	30,0	39,0	3,5	0,462	2,0	0,820	1,5	0,786
B60	33,0	39,5	3,5	0,501	2,0	0,814	1,5	0,786
B70	37,0	41,0	3,3	0,541	2,0	0,797	1,5	0,773
B80	41,0	42,0	3,13	0,586	2,0	0,779	1,5	0,761
B90	44,0	42,5	2,97	0,621	2,0	0,760	1,5	0,747
B100	47,5	43,0	2,8	0,663	2,0	0,739	1,5	0,732

### 3. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của cốt thép

TCVN 5574:2018 cho phép sử dụng các biểu đồ đường cong, các biểu đồ biến dạng thực tế gần đúng của cốt thép nhưng khuyến cáo đối với các mác thép CB-240T, CB-300V, CB-400V, CB-500V theo TCVN

1651:2008 và dây thép vượt nguội theo TCVN 6288:1997 nên sử dụng biểu đồ hai đoạn thẳng như hình 2. Thực tế các công thức thiết lập ở phần tính toán theo độ bền và theo trạng thái giới hạn thứ 2 đều được thiết lập theo biểu đồ hai đoạn thẳng này.



Hình 2. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của cốt thép dạng hai đoạn thẳng [1]

Giá trị giới hạn của biến dạng tương đối của cốt thép khi tính toán độ bền tiết diện thẳng góc của các cấu kiện BTCT được quy định trong TCVN 5574 : 2018 bằng 0,025 đối với cốt thép có giới hạn chảy thực tế và bằng 0,015 đối với cốt thép có giới hạn chảy quy ước. Thông thường đối với các mác thép CB-240T, CB-300V, CB-400V, CB-500V theo TCVN 1651:2008 đều có giới hạn chảy thực tế còn đối với các lưới thép hàn làm từ thép vuốt nguội sẽ có giới hạn chảy quy ước.

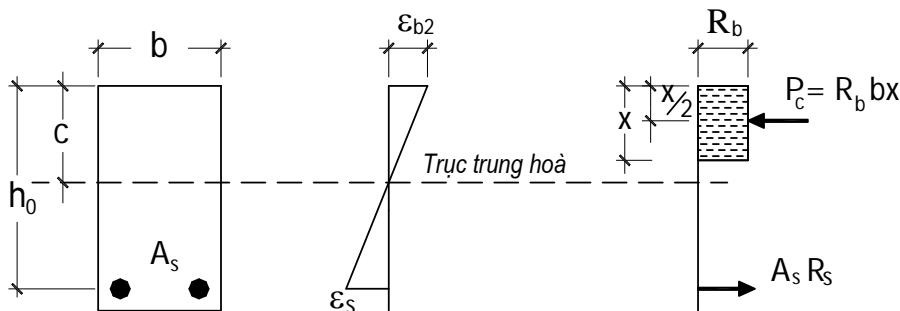
Tiêu chuẩn châu Âu quy định biến dạng giới hạn của cốt thép tùy thuộc biểu đồ ứng suất-biến dạng của cốt thép được sử dụng và tùy vào quy định nêu trong phụ lục quốc gia của từng nước. Đối với tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50010 biến dạng giới hạn của cốt thép không chế ở giá trị 0,01 còn tiêu chuẩn ACI 318 không quy định cụ thể nhưng khuyến cáo nêu trong ACI ITG 6R [7] là 0,015.

**4. Giới hạn hàm lượng thép tối đa**

TCVN 5574:2018 không quy định hàm lượng thép tối đa đối với mọi cấu kiện. Tuy nhiên đối với cấu kiện chịu uốn tiêu chuẩn giới hạn chiều cao tương đối của vùng chịu nén của bê tông  $\xi = x/h_0$  không vượt quá giá trị giới hạn  $\xi_R$  ứng với trạng thái

giới hạn của cấu kiện xảy ra đồng thời với việc ứng suất trong cốt thép chịu kéo đạt tới cường độ tính toán  $R_s$ , nghĩa là biến dạng của cốt thép đạt giá trị biến dạng chảy thiết kế  $\epsilon_{s,el}$  khi biến dạng lớn nhất của bê tông đạt  $\epsilon_{b2}$ . Tiêu chuẩn của các nước tiên tiến đều có quy định giới hạn chiều cao trục trung hòa với mục đích là để ngăn không xảy ra phá hoại giòn khi bê tông bị nén vỡ trước khi cốt thép chảy dẻo, tuy nhiên để đảm bảo điều đó xảy ra thì chiều cao trục trung hòa cần được hạn chế hơn nữa với biến dạng của cốt thép phải lớn hơn cả biến dạng chảy đặc trưng của cốt thép (bằng 1.15 lần biến dạng chảy thiết kế đối với EN1992 và TCVN 5574:2018) với một mức độ an toàn nhất định, ví dụ đối với ACI 318 thì biến dạng giới hạn đó là 0,004 còn với EN 1992 thì biến dạng giới hạn đó có thể xác định thông qua tỷ số  $c/d = 0,45$  và bằng 0,0043 đối với bê tông thông thường, với  $c$  là chiều cao trục trung hòa và  $d$  là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu kéo tới mép chịu nén lớn nhất của tiết diện.

Từ giới hạn chiều cao tương đối của vùng chịu nén của bê tông  $\xi \leq \xi_R$  có thể xác định được hàm lượng thép lớn nhất của tiết diện đặt cốt đơn chịu uốn. Hình 3 thể hiện phân bố ứng suất và biến dạng của tiết diện chữ nhật đặt cốt đơn chịu uốn ở trạng thái giới hạn.



a) Mặt cắt ngang tiết diện      b) Giới hạn biến dạng phẳng      c) Sơ đồ ứng suất chịu nén trong thiết kế

Hình 3. Phân bố ứng suất và biến dạng của tiết diện chữ nhật đặt cốt đơn chịu uốn

## KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Trường hợp  $x/h_0$  đạt tới  $\xi_R$  nghĩa là biến dạng trong cốt thép đạt  $\varepsilon_{s,el}$  từ giả thiết biến dạng phẳng, dựa vào tam giác đồng dạng từ hình 3 ta sẽ có:

$$\frac{c}{h_0} = \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}} = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} \quad (1)$$

Theo tiêu chuẩn [1] quy định.

$$\xi_R = \frac{x}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} \quad (2)$$

do đó  $x = 0,8c$  hay  $\lambda = 0,8$ .

Như vậy, mặc dù tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 không nêu rõ giá trị  $x/c$  nhưng từ quy định về chiều

cao tương đối của vùng bê tông chịu nén có thể tính ra giá trị này bằng 0,8.

Từ sơ đồ phân bố ứng suất ở hình 3, theo điều kiện cân bằng lực ta có

$$R_b b x = A_s R_s \quad (3)$$

Viết lại biểu thức trên:

$$\frac{A_s}{b h_0} = \frac{R_b x}{R_s h_0} = \frac{R_b}{R_s} \xi_R \quad (4)$$

Đối với mỗi cấp độ bền bê tông và mác thép ta sẽ có 1 giá trị hàm lượng thép chịu kéo lớn nhất  $A_s/bh_0$  tại đó  $x/h_0 = \xi_R$  như nêu ở bảng 2.

**Bảng 2.** Hàm lượng thép ( $A_s/bh_0$  tính theo %) lớn nhất đối với tiết diện chịu uốn đặt cốt đơn theo TCVN 5574:2018

Mác thép	Cấp độ bền bê tông									
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
CB-300V	1,90	2,57	3,24	3,80	4,36	4,91	5,59	6,14	6,70	7,37
CB-400V	1,31	1,77	2,23	2,61	3,00	3,38	3,84	4,23	4,61	5,07
CB-500V	0,96	1,31	1,65	1,93	2,21	2,50	2,84	3,12	3,41	3,75

Trường hợp hàm lượng thép tính toán vượt quá giá trị nêu ở bảng 2 thì cần phải đặt cốt thép chịu nén (tiết diện đặt cốt kép) và kiểm tra hai điều kiện:  $x/h_0 \leq \xi_R$  và  $x \geq 2a'$  với  $a'$  là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu nén tới mép bê tông chịu nén.

Tuy nhiên, như đã phân tích ở trên, hàm lượng thép giới hạn nêu ở bảng 2 chỉ đảm bảo biến dạng cốt thép đạt tới biến dạng chảy tính toán chứ chưa đạt tới giá trị biến dạng chảy tiêu chuẩn, như vậy thì khả năng phá hoại giòn vẫn xảy ra nếu hoàn toàn không có thép chịu nén. Thực tế chủ yếu là cấu kiện dầm mới đặt thép với hàm lượng lớn và có nguy cơ vượt quá hàm lượng thép lớn nhất đối với cấu kiện

đặt cốt đơn, tuy nhiên thông thường dầm đều có thép chịu nén có thể không xét tới trong tính toán để làm thép gá cho cốt đai nên nếu lượng cốt thép chịu nén đó đủ lớn thì có thể giúp cho tiết diện tránh bị phá hoại giòn. Mặc dù vậy, như đã nêu ở trên, các tiêu chuẩn tiên tiến như EN 1992 hay ACI đều có quy định giới hạn chiều cao trục trung hòa sao cho biến dạng của thép chịu kéo không nhỏ hơn một giá trị khá lớn (0,0043 đối với EN 1992 và 0,004 đối với ACI 318) để đảm bảo độ dẻo cho cấu kiện. Nếu áp dụng EN 1992 với  $c/d = 0,45$  thì hàm lượng thép giới hạn đối với tiết diện đặt cốt đơn sẽ nhỏ hơn so với TCVN 5574:2018 như nêu ở bảng 3 dưới đây.

**Bảng 3.** Hàm lượng thép ( $A_s/bh_0$  tính theo %) lớn nhất đối với tiết diện chịu uốn đặt cốt đơn theo EN 1992:2004

Mác thép	Cấp độ bền bê tông theo TCVN 5574:2018 và EN 1992:2004									
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C28/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
CB-300V	1,10	1,47	1,84	2,30	2,58	2,94	3,22	3,68	4,14	4,60
CB-400V	0,83	1,10	1,38	1,73	1,93	2,21	2,42	2,76	3,11	3,45
CB-500V	0,66	0,88	1,10	1,38	1,55	1,77	1,93	2,21	2,48	2,76

Từ bảng 2 và 3 có thể thấy rằng hàm lượng thép lớn nhất đối với tiết diện chịu uốn đặt cốt đơn theo TCVN 5584:2018 cao hơn EN 1992:2014 từ 36% (B60, CB-500V) đến 78% (B25, CB-300V).

### 5. Giới hạn chịu kéo đứt của cốt thép

Theo yêu cầu cấu tạo TCVN 5574:2018 chỉ yêu cầu hàm lượng thép tối thiểu đối với cả thép chịu

kéo và thép chịu nén của cấu kiện chịu uốn là  $A_s/bh_0 \geq 0,1\%$ . Hàm lượng thép tối thiểu này nhằm mục đích tránh nứt cho cấu kiện khi đặt quá ít cốt thép. Tuy nhiên khi tính toán cốt thép chịu kéo cần phải kiểm tra biến dạng của cốt thép chịu kéo không được vượt quá giá trị biến dạng giới hạn của thép, hay có thể gọi là giới hạn bền của thép, nêu ở điều

8.1.2.7.11 với  $\varepsilon_{s,u} = 0,025$  đối với cốt thép có giới hạn chảy thực tế và  $\varepsilon_{s,u} = 0,015$  đối với cốt thép có giới hạn chảy quy ước.

Từ giả thiết biến dạng phẳng như ở hình 3, ở trạng thái giới hạn khi biến dạng của cốt thép chịu kéo đạt tới biến dạng giới hạn  $\varepsilon_{s,u} = 0,025$  ta sẽ có:

$$\frac{c}{h_0} = \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,u}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,025} = 0,1228 \quad (5)$$

**Bảng 4.** Hàm lượng thép ( $A_s/bh_0$  tính theo %) ứng với trường hợp cốt thép đạt giá trị biến dạng giới hạn 0,025 ở trạng thái giới hạn về độ bền

Mác thép	Cấp độ bền bê tông theo TCVN 5574:2018													
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	B70	B80	B90	B100
CB-300V	0,32	0,43	0,55	0,64	0,73	0,83	0,94	1,04	1,13	1,24	1,32	1,40	1,43	1,47
CB-400V	0,24	0,32	0,41	0,48	0,55	0,62	0,71	0,78	0,85	0,93	0,99	1,05	1,07	1,10
CB-500V	0,19	0,26	0,33	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,75	0,79	0,84	0,86	0,88

Để thuận tiện cho việc kiểm tra tiết diện có bị rơi vào trường hợp cần kiểm tra giới hạn bền của cốt thép đối với một giá trị mô men uốn thiết kế hay không, có thể tính sẵn khả năng chịu mô men ứng với hàm lượng thép nhỏ nhất để đảm bảo biến dạng của cốt thép không vượt quá biến dạng giới hạn theo kích thước hình học của tiết diện và cấp độ

$$M_R = 0,098bh_0R_b \left( h_0 - \frac{0,098h_0}{2} \right) = 0,0932bh_0^2R_b \quad (7)$$

Như vậy, đối với mỗi giá trị mô men tính toán  $M$  ta có thể lựa chọn kích thước cấu kiện và cấp độ bền bê tông để sao cho giá trị  $M_R$  tính biểu thức (8) không vượt quá  $M$  thì hàm lượng thép luôn đảm bảo cho cốt thép không bị kéo đứt trước khi bê tông đạt được trạng thái giới hạn.

Tuy nhiên trong nhiều trường hợp, tiết diện được lựa chọn theo yêu cầu về lực cắt hoặc yêu cầu kiến trúc nên mô men uốn thiết kế nhỏ hơn giá trị  $M_R$  nêu ở trên, việc đặt thép bằng hàm lượng nêu ở bảng 4 sẽ không kinh tế. Trường hợp này có thể xử lý như sau:

- Tính diện tích thép chịu kéo  $A_s$  ứng với giá trị mô men uốn thiết kế theo nội lực giới hạn cho trường hợp đặt cốt đơn từ hệ phương trình cân bằng lực ở sơ đồ c) hình 3.

$$A_sR_s = R_bbx \quad (8)$$

$$\text{và } M = R_bbx(h_0 - x/2) \quad (9)$$

với hai ẩn số  $A_s$  và  $x$  sẽ dễ dàng tìm được  $A_s$ ;

Thay  $c = x/\lambda$  vào biểu thức (5) với  $\lambda = 0,8$  như đã nêu ở mục trên ta sẽ có  $x/h_0 = 0,098$ . Từ biểu thức (3) về cân bằng lực sẽ tính được hàm lượng thép ứng với trường hợp cốt thép đạt giá trị biến dạng giới hạn 0,025 ở trạng thái giới hạn về độ bền (thép có giới hạn chảy thực tế) như bảng 4.

bền bê tông như sau: Từ sơ đồ phân bố ứng suất trên hình 3 ta có:

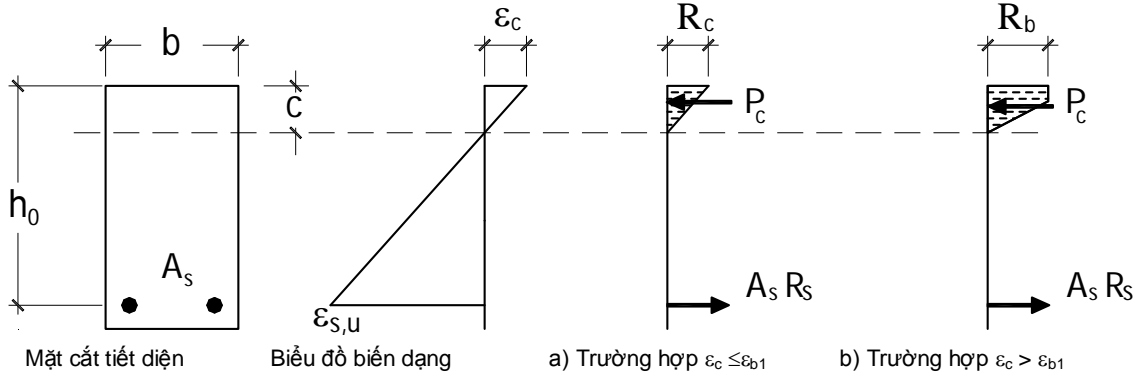
$$M_R = R_bbx(h_0 - x/2) \quad (6)$$

Khi cốt thép đạt tới biến dạng giới hạn đồng thời với bê tông đạt trạng thái giới hạn  $\varepsilon_{s,u} = 0,025$  và  $\varepsilon_{b2} = 0,0035$  thì  $x/h_0 = 0,098$  như đã rút ra ở phần trên, thay giá trị  $x$  vào biểu thức (6) ta có:

- Lựa chọn thép với diện tích  $A_{sd}$  lớn hơn  $A_s$  nhưng không vượt quá diện tích thép  $A_{smin}$  tính ra từ bảng 4;

- Kiểm tra khả năng chịu mô men uốn thực tế với diện tích thép  $A_{sd}$  theo biểu đồ ứng suất-biến dạng của bê tông khi chưa đạt tới trạng thái giới hạn là biểu đồ hai đoạn thẳng và biến dạng của cốt thép đạt tới biến dạng giới hạn. Nếu khả năng chịu mô men uốn thực tế lớn hơn hoặc bằng mô men uốn thiết kế thì diện tích thép  $A_{sd}$  chấp nhận được, nếu khả năng chịu mô men uốn thực tế nhỏ hơn mô men uốn thiết kế thì tăng diện tích thép lên và kiểm tra lại cho đến khi đạt yêu cầu.

Việc kiểm tra khả năng chịu mô men uốn đối với diện tích thép  $A_{sd} < A_{smin}$  có thể dựa vào sơ đồ phân bố ứng suất-biến dạng ở hình 4 tùy thuộc vào trường hợp bê tông làm việc trong miền đàn hồi ( $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{b1}$ ) hay miền đàn dẻo ( $\varepsilon_c > \varepsilon_{b1}$ ). Với biểu đồ hai đoạn thẳng thì  $\varepsilon_{b1} = 0,0015$ .



Hình 4. Hai trường hợp phân bố ứng suất trong bê tông khi cốt thép đạt giới hạn bền nhưng bê tông chưa đạt giới hạn bền

Xét trường hợp biến dạng ở thớ chịu nén lớn nhất của bê tông đạt giá trị  $\varepsilon_c = \varepsilon_{b1} = 0,0015$ . Khi đó ứng suất tại thớ chịu nén lớn nhất cũng đạt  $R_c = R_b$  và ta sẽ xác định được hợp lực của bê tông theo sơ đồ ứng suất hình tam giác như sau:

$$P_c = 0,5bcR_b \quad (10)$$

trong đó  $c$  là chiều cao trục trung hòa, xác định từ biểu đồ biến dạng với  $\varepsilon_c = \varepsilon_{b1}$  như sau:

$$c/h_0 = \varepsilon_{b1} / (\varepsilon_{b1} + \varepsilon_{s,u}) = 0,0015 / (0,0015 + 0,025) = 0,0566 \quad (11)$$

$$c = 0,0566 h_0 \quad (12)$$

Thay  $c$  từ (12) vào (10) sẽ có:

$$P_c = 0,0283bh_0R_b \quad (13)$$

Như vậy trường hợp biến dạng ở thớ bê tông chịu nén lớn nhất của tiết diện sẽ đạt giá trị 0,0015 khi biến dạng của thép chịu kéo đạt giá trị giới hạn 0,025 sẽ xảy ra khi  $P_c = A_sR_s$ , tức là:

$$A_sR_s = 0,0283bh_0R_b \text{ hay } A_s = 0,0283bh_0R_b / R_s \quad (14)$$

Nếu diện tích thép bố trí  $A_{sd} \leq A_s$  bê tông sẽ làm việc trong miền đàn hồi theo sơ đồ a) ở hình 4, còn nếu  $A_{sd} > A_s$  thì bê tông sẽ làm việc trong miền đàn dẻo theo sơ đồ b) ở hình 4.

a) Trường hợp bê tông làm việc trong miền đàn hồi

Trường hợp này quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông là tuyến tính, do đó  $R_c = R_b (\varepsilon_c / \varepsilon_{b1})$ . Hợp lực của bê tông sẽ là:

$$P_c = 0,5bcR_c = 0,5bc R_b (\varepsilon_c / \varepsilon_{b1}) = bcR_b\varepsilon_c / 0,003 \quad (15)$$

Từ biểu đồ biến dạng ta có:

$$c = h_0 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{s,u}} = \frac{h_0 \varepsilon_c}{\varepsilon_c + 0,025} \quad (16)$$

Phương trình cân bằng lực sẽ có dạng:

$$A_sR_s = \frac{R_b b h_0 \varepsilon_c^2}{0,003(\varepsilon_c + 0,025)} \quad (17)$$

Từ biểu thức này với các giá trị  $A_s, R_s, R_b, b, h_0$  đã biết sẽ tính được  $\varepsilon_c$  và từ đó tính được  $c$  theo biểu thức (16). Gọi khoảng cách từ điểm đặt hợp lực của bê tông tới mép chịu nén là  $x_b$ , đối với biểu đồ hình tam giác ta sẽ có  $x_b = c/3$ , từ đó xác định được khả năng chịu mô men uốn của tiết diện sẽ là:

$$M = A_sR_s(h_0 - c/3) \quad (18)$$

b) Trường hợp bê tông làm việc trong miền đàn-dẻo

Trường hợp này ứng với sơ đồ b) ở hình 4 khi biến dạng tại thớ chịu nén lớn nhất  $\varepsilon_c > 0,0015$ . Hợp lực của bê tông sẽ là:

$$P_c = \frac{R_b b}{2} \left( c + c \frac{\varepsilon_c - 0,0015}{\varepsilon_c} \right) = R_b b c \left( 1 - \frac{0,0015}{2\varepsilon_c} \right) \quad (19)$$

Thay c từ biểu thức (16) vào (19) ta có:

$$P_c = \frac{R_b b h_0 (\varepsilon_c - 0,00075)}{\varepsilon_c + 0,025} \quad (20)$$

Phương trình cân bằng lực sẽ có dạng:

$$A_s R_s = \frac{R_b b h_0 (\varepsilon_c - 0,00075)}{\varepsilon_c + 0,025} \quad (21)$$

$$\varepsilon_c = \frac{0,00075 R_b b h_0 + 0,025 A_s R_s}{R_b b h_0 - A_s R_s} \quad (22)$$

Từ giá trị  $\varepsilon_c$  xác định ở biểu thức (22) sẽ tính được c theo biểu thức (16). Khả năng chịu mô men uốn của tiết diện sẽ là:

$$M = A_s R_s (h_0 - x_b) \quad (23)$$

khoảng cách  $x_b$  từ hợp lực của bê tông tới mép chịu nén có thể xác định thông qua các biểu thức toán học với tỷ lệ  $\varepsilon_b/\varepsilon_c = k$  như sau:

$$x_b = c \frac{1 - k + k^2/3}{2 - k} \quad (24)$$

Thực tế khi hàm lượng thép nhỏ thì chiều cao trục trung hòa là khá nhỏ, do vậy chênh lệch về vị trí chính xác của hợp lực không ảnh hưởng nhiều tới kết quả tính khả năng chịu mô men của hợp lực, vì giá trị  $x_b$  chỉ dao động từ 0,4c (ứng với trường hợp  $\varepsilon_c = 0,0035$ ) đến 0,33c (ứng với trường hợp  $\varepsilon_c = 0,0015$ ). Do đó cũng có thể sử dụng kết quả tính toán từ giả thiết tiết diện đạt trạng thái giới hạn và đặt thép lớn hơn không quá 5% so với kết quả tính được là đủ.

### 6. Kết luận

Bài viết đã trình bày mối quan hệ ứng suất-biến dạng của bê tông và cốt thép ở trạng thái giới hạn chịu lực nêu trong tiêu chuẩn mới về thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2018. Thông qua các mối quan hệ đó tác giả đã thiết lập bảng tra sẵn hàm lượng thép tối đa đối với tiết diện chịu uốn đặt cốt đơn và so sánh với hàm lượng thép tối đa cho phép theo tiêu chuẩn Eurocode 2. Do quy định của TCVN 5574:2018 không hoàn toàn đảm bảo cấu kiện có thể tránh xảy ra phá hoại giòn nên tác giả khuyến cáo nên áp dụng hàm lượng cốt thép tối đa tính theo Eurocode 2 cho trường hợp đặt cốt thép đơn trong dầm. Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 có quy định biến dạng giới hạn của cốt thép, tác động của quy định này tới hàm lượng thép của cấu kiện chịu uốn cũng đã được phân tích để

có thể áp dụng trong thực hành lựa chọn kích thước cấu kiện cho phù hợp, cũng như có thể tính chính xác khả năng chịu lực trong trường hợp cốt thép đạt giới hạn về biến dạng kéo trước khi bê tông đạt giới hạn về biến dạng nén.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 5574:2018, Thiết kế Kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép.
- [2] СП 63.13330.2012, Бетонные и железобетонные конструкции - Основные положения, *Москва*.
- [3] TCVN 5574:2012, Kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [4] EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, *CEN, 2004*.
- [5] GB50010:2010, Code for Design of Concrete Structures, *Beijing 2010*.
- [6] ACI 318:2014, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14), *American Concrete Institute, Farmington Hills, USA, 2015*.
- [7] ACI ITG-6R-10, Design Guide for the Use of ASTM A1035/A1035M Grade 100 Steel Bars for Structural Concrete, *American Concrete Institute, Farmington Hills, USA, 2010*.

**Ngày nhận bài:** 31/01/2019.

**Ngày nhận bài sửa lần cuối:** 01/4/2019.