

## Chương 2:

## CÁC TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA VẬT LIỆU

### *Nội dung và mục tiêu của chương 2 trình bày về các vấn đề:*

Các tính năng cơ, lý của vật liệu bê tông như: thành phần cấu trúc, cường độ, mác bê tông, cấp độ bền, biến dạng, môđun đàn hồi của bê tông.

Cách phân loại loại cốt thép, các tính năng cơ, lý của vật liệu thép như biểu đồ kéo thép, giới hạn chảy, giới hạn bền, sự cứng nguội...

Các yếu tố tạo nên lực dính giữa bê tông và thép, các nhân tố ảnh hưởng, các biện pháp tăng lực dính, sự làm việc chung giữa bê tông và thép.

Sự hư hỏng và phá hoại của bê tông cốt thép

### **2.1. BÊ TÔNG**

#### **2.1.1. Thành phần, cấu trúc và các loại bê tông**

##### **a. Thành phần**

Bê tông là một loại đá nhân tạo được chế tạo từ các vật liệu rời (cát, đá, sỏi) và chất kết dính (thường là xi măng), nước và có thể thêm phụ gia.

Vật liệu rời còn gọi là cốt liệu, cốt liệu có 2 loại bé và lớn. Loại bé là cát có kích thước (1-5)mm, loại lớn là sỏi hoặc đá dăm có kích thước (5-40)mm.

Chất kết dính là xi măng trộn với nước hoặc các chất dẻo khác.

Phụ gia nhằm cải thiện một số tính chất của bê tông trong lúc thi công cũng như trong quá trình sử dụng. Có nhiều loại phụ gia như phụ gia nâng cao độ dẻo của hỗn hợp bê tông, tăng nhanh hoặc kéo dài thời gian đông kết của bê tông, nâng cao cường độ của bê tông trong thời gian đầu, chống thấm...

Nguyên lý tạo nên bê tông là dùng các cốt liệu lớn làm thành bộ khung, cốt liệu nhỏ lấp đầy các khoảng trống và dùng chất kết dính liên kết chúng lại thành một thể đặc chắc có khả năng chịu lực và chống lại các biến dạng.

##### **b. Cấu trúc**

Bê tông có cấu trúc không đồng nhất vì hình dáng, kích thước cốt liệu khác nhau, sự phân bố của cốt liệu và chất kết dính không thật đồng đều, trong bê tông vẫn còn lại một ít nước thừa và những lỗ rỗng li ti (do nước thừa bốc hơi).

Quá trình khô cứng của bê tông là quá trình thủy hóa của xi măng, quá trình thay đổi lượng nước cân bằng, sự giảm keo nhớt, sự tăng mạng tinh thể của đá xi măng. Các quá trình này làm cho bê tông trở thành vật liệu *vừa có tính đàn hồi vừa có tính dẻo*.

### c. Phân loại

**Theo cấu trúc:** bê tông đặc chắc, bê tông có lỗ rỗng (dùng ít cát), bê tông tổ ong, bê tông xốp.

**Theo dung lượng:** bê tông nặng ( $\gamma = 2200 \div 2500 \text{ kG/m}^3$ ); bê tông nặng cốt liệu bé ( $\gamma = 1800 \div 2200 \text{ kG/m}^3$ ); bê tông nhẹ ( $\gamma < 1800 \text{ kG/m}^3$ ); bê tông đặc biệt nặng ( $\gamma > 2500 \text{ kG/m}^3$ ).

**Theo chất kết dính:** bê tông xi măng, bê tông nhựa, bê tông chất dẻo, bê tông thạch cao, bê tông xỉ, bê tông silicat.

**Theo phạm vi sử dụng:** bê tông làm kết cấu chịu lực, bê tông chịu nóng, bê tông cách nhiệt, bê tông chống xâm thực v.v...

**Theo thành phần hạt:** bê tông thông thường, bê tông cốt liệu bé, bê tông chèn đá học.

Trong giáo trình này trình bày chủ yếu về bê tông nặng thông thường, đặc chắc, dùng chất kết dính xi măng và dùng cho kết cấu chịu lực.

### 2.1.2. Cường độ của bê tông

Cường độ của bê tông là chỉ tiêu quan trọng thể hiện khả năng chịu lực của vật liệu.

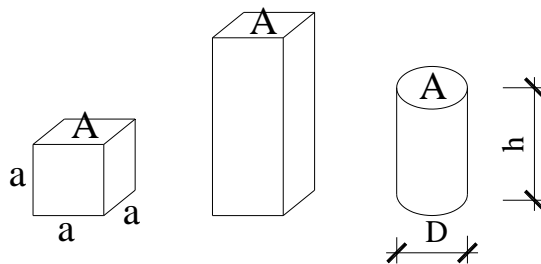
Cường độ của bê tông phụ thuộc vào thành phần và cấu trúc của nó.

Với bê tông cần xác định cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo.

#### a. Cường độ chịu nén của bê tông ( $R_b$ )

Mẫu có thể chế tạo bằng các cách khác nhau: lấy hỗn hợp bê tông đã được nhào trộn để đúc mẫu hoặc dùng thiết bị chuyên dùng khoan lấy mẫu từ kết cấu có sẵn.

Mẫu đúc từ hỗn hợp bê tông có hình dáng là khối vuông cạnh  $a$  ( $a = 100; 150; 200\text{mm}$ ), khối hình trụ có đáy vuông hoặc tròn.



**Hình 2.1. Mẫu để thí nghiệm cường độ chịu nén**

Với khối trụ tròn thường có diện tích đáy  $A = 200 \text{ cm}^2$ ; chiều cao  $h = 2D = 320 \text{ mm}$ . Khi khoan mẫu từ kết cấu có sẵn thường lấy mẫu trụ tròn có đường kính  $D = 50 \div 150 \text{ mm}$ ; chiều cao  $h = (1 \div 1,5)D$ .

Thí nghiệm bằng máy nén. Tăng lực nén từ từ cho đến khi mẫu bị phá hoại. Gọi lực phá hoại là P thì cường độ của mẫu là R được xác định như sau:

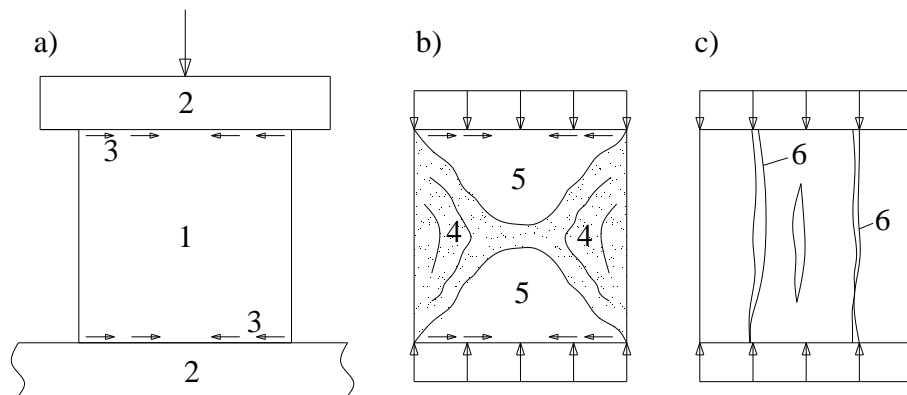
$$R = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

A – diện tích tiết diện ngang của mẫu.

Đơn vị tính của R thường dùng là MPa (Mega Pascal) hoặc kG/cm<sup>2</sup>  
 1MPa = 10<sup>6</sup>Pa = 10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup> = N/mm<sup>2</sup> = 9,81 kG/cm<sup>2</sup>

Bê tông thông thường có R = 5 ÷ 30 MPa. Bê tông có R > 40MPa là loại cường độ cao. Hiện nay, người ta đã chế tạo được các loại bê tông đặc biệt có R ≥ 80MPa.

Khi bị nén, ngoài biến dạng co ngắn theo phương tác dụng của lực, bê tông còn bị nở ngang. Thông thường chính sự nở ngang quá mức làm cho bê tông bị nứt và bị phá vỡ. Nếu hạn chế được mức độ nở ngang của bê tông có thể làm tăng khả năng chịu nén của nó. Trong thí nghiệm nếu không bôi trơn mặt tiếp xúc giữa mẫu thử và bàn máy nén thì tại đó sẽ xuất hiện lực ma sát có tác dụng cản trở sự nở ngang, kết quả mẫu bị phá hoại theo hình tháp đôi đỉnh như trên hình 2.2b. Nếu bôi trơn mặt tiếp xúc để bê tông tự do nở ngang thì khi biến dạng ngang quá mức trong mẫu sẽ xuất hiện các vết nứt dọc và sự phá hoại xảy ra như trên hình 2.2c. Cường độ của mẫu được bôi trơn thấp hơn cường độ của mẫu khối vuông có ma sát.



**Hình 2.2. Sự phá hoại mẫu thử khối vuông**

1 – mẫu; 2 – bàn máy nén; 3 – ma sát; 4 – bê tông bị ép vụn;  
 5 – hình tháp phá hoại; 6 – vết nứt dọc trong mẫu

Vì ma sát làm cản trở biến dạng ngang mà với mẫu khối vuông khi tăng cạnh a thì R giảm và cường độ của mẫu hình trụ thấp hơn cường độ của mẫu khối vuông.

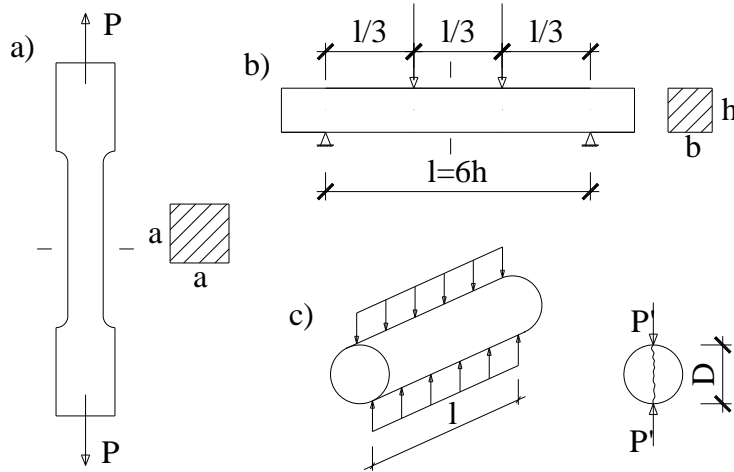
### **b. Cường độ chịu kéo R<sub>bt</sub>**

Mẫu thử chịu kéo có tiết diện vuông cạnh a (hình 2.3.a) hoặc mẫu chịu uốn có tiết diện chữ nhật cạnh b x h (hình 2.3.b). Cường độ chịu kéo của bê tông R<sub>bt</sub> được xác định theo công thức sau:

Đối với cấu kiện chịu kéo: 
$$R_t = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Đối với cấu kiện chịu uốn: 
$$R_t = \frac{3.5M}{bh^2} \quad (2.3)$$

Với: P, M – lần lượt là lực kéo, momen làm phá hoại mẫu.  
 Cũng có thể xác định cường độ chịu kéo bằng ép chẻ mẫu trụ tròn (hình 2.3.c).



**Hình 2.3. Thí nghiệm xác định  $R_t$**

**c. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và kéo**

Có thể dùng công thức thực nghiệm sau để xác định cường độ chịu kéo thông qua cường độ chịu nén mà không cần phải thí nghiệm.

Quan hệ phi tuyến:

$$R_{bt} = \theta_t \cdot \sqrt{R_b} \quad (2.4)$$

$\theta_t$ : được lấy phụ thuộc vào loại bê tông, với  $R_b$  có đơn vị là Mpa thì  $\theta_t = 0,28 \div 0,3$

Quan hệ tuyến tính:

$$R_{bt} = 0,6 + 0,06.R_b \quad (2.5)$$

Quan hệ đường cong theo hệ số  $C_t$ :

$$R_{bt} = C_t \cdot R \quad (2.6)$$

$$C_t = \frac{R + 150}{60.R + 1300} \quad (2.7)$$

**d. Các nhân tố ảnh hưởng đến cường độ bê tông**

*Thành phần và cách chế tạo bê tông:*

✓ **Chất lượng và số lượng xi măng:** Với cường độ bê tông đã dự kiến, khi dùng xi măng chất lượng cao hơn thì số lượng sẽ ít hơn. Trong một giới hạn nào đó khi tăng lượng xi măng cũng sẽ tăng cường độ bê tông nhưng nói chung hiệu quả không cao và

thường làm tăng biến dạng co ngót gây hậu quả xấu. Khi cần có bê tông cường độ cao nên dùng xi măng mác cao với số lượng hợp lý.

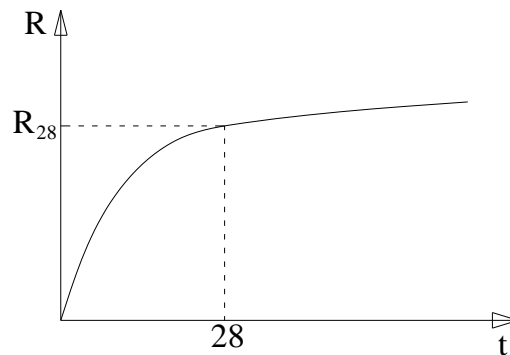
✓ Độ cứng, độ sạch và tỉ lệ thành phần của cốt liệu (cấp phối): Khi chọn được cấp phối hợp lí không những tăng được cường độ bê tông mà còn sử dụng xi măng một cách tiết kiệm.

✓ Tỉ lệ nước – xi măng: Khi tỉ lệ này tăng lên thì cường độ và độ đặc chắc của bê tông đều bị giảm và biến dạng do co ngót tăng.

✓ Chất lượng của việc nhào trộn vữa bê tông, độ đầm chắc của bê tông khi đổ khuôn và điều kiện bảo dưỡng.

*Tuổi bê tông (t ngày):*

Tuổi của bê tông là thời gian t (tính bằng ngày) kể từ khi chế tạo đến khi thí nghiệm mẫu. Kết quả thí nghiệm cho biết quan hệ giữa R và t của bê tông dưỡng hộ trong điều kiện bình thường thể hiện trên hình 2.5. Trong quá trình khô cứng cường độ tăng dần lên, thời gian đầu tăng nhanh, sau tăng chậm dần. Với bê tông dùng xi măng Pooc-lăng chế tạo và bảo dưỡng bình thường cường độ tăng nhanh trong 28 ngày đầu.



**Hình 2.4. Đồ thị tăng cường độ theo thời gian**

Để biểu diễn sự tăng R theo t có thể dùng công thức thực nghiệm của B.G. Xkramtaep theo quy luật logarit, dùng được khi  $t = 7 \div 300$  ngày.

$$R = 0.7R_{28} \lg t \quad (2.8)$$

Công thức viện nghiên cứu bê tông Mỹ ACI:

$$R = R_{28} \cdot \frac{t}{a + bt} \quad (2.9)$$

a, b: hệ số phụ thuộc vào loại xi măng. Thông thường  $a = 4$ ;  $b = 0,85$ , với xi măng đông cứng nhanh  $a = 2,3$ ;  $b = 0,92$

Nếu dùng xi măng pudolan thời gian tăng  $R_{bd}$  là 90 ngày.

Trong môi trường thuận lợi (nhiệt độ dương, độ ẩm cao) sự tăng cường độ có thể kéo dài trong nhiều năm còn trong điều kiện khô hanh hoặc nhiệt độ thấp sự tăng cường độ trong thời gian sau này là không đáng kể.

Dùng hơi nước nóng để bảo dưỡng bê tông cũng như dùng phụ gia tăng cường độ có thể làm cường độ tăng rất nhanh trong thời gian vài ngày đầu nhưng sẽ làm cho bê tông giòn hơn và có cường độ cuối cùng (sau vài năm) thấp hơn so với bê tông được bảo dưỡng trong điều kiện tự nhiên và không dùng phụ gia.

*Điều kiện thí nghiệm:*

Khi bị nén ngoài biến dạng co ngắn theo phương lực tác dụng, bê tông còn bị nở ngang, chính sự nở ngang quá mức làm bê tông bị phá vỡ. Hạn chế sự nở ngang sẽ làm tăng khả năng chịu nén của bê tông.

Trong thí nghiệm nếu không bôi trơn bề mặt tiếp xúc thì ma sát tại mặt tiếp xúc hạn chế sự nở ngang của bê tông cho nên cường độ khi nén sẽ lớn hơn khi ta bôi trơn bề mặt tiếp xúc. Cũng do ma sát nên mẫu bé có cường độ lớn hơn.

Tốc độ gia tải có ảnh hưởng đến giá trị cường độ thu được. Tốc độ gia tải quy định là 0.2MPa/giây thì cường độ đạt được là R. Khi gia tải rất nhanh cường độ của bê tông có thể đạt được (1.15 ÷ 1.2)R, còn khi gia tải rất chậm cường độ chỉ đạt được (0.85 ÷ 0.9)R.

Thí nghiệm nén một mẫu bê tông đến ứng suất vượt quá 0.9R (nhưng  $\leq 0.95R$ ) rồi giữ nguyên lực nén trong thời gian dài thì đến một lúc nào đó mẫu sẽ bị phá hoại. Đó là hiện tượng bê tông bị giảm cường độ khi tải trọng tác dụng dài hạn.

*Điều kiện thí nghiệm chuẩn: không bôi trơn, tốc độ gia tải 0,2MPa/giây.*

### 2.1.3. Giá trị trung bình và giá trị tiêu chuẩn của cường độ

#### a. Giá trị trung bình

Khi thí nghiệm n mẫu thử của cùng một loại bê tông thu được các giá trị cường độ của các mẫu thử là  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . Các giá trị đó có thể giống hoặc khác nhau. Giá trị trung bình cường độ của các mẫu thử ký hiệu là  $R_m$ , gọi tắt là cường độ trung bình được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2.10)$$

#### b. Độ lệch quân phương và hệ số biến động

Đặt  $\Delta_i = |R_i - R_m|$  và gọi là độ lệch. Với số lượng mẫu n đủ lớn ( $n \geq 15$ ) tính độ lệch quân phương  $\sigma$  theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_m)^2}{n - 1}} \quad (2.11)$$

Hệ số biến động  $v$  được tính theo công thức:

$$v = \frac{\sigma}{R_m} \quad (2.12)$$

Dùng hệ số biến động  $v$  để đánh giá mức độ đồng nhất của bê tông. Giá trị  $v$  càng bé thì bê tông có độ đồng nhất càng cao và ngược lại. Quy trình công nghệ, điều kiện chế tạo bê tông có ảnh hưởng quyết định đến  $v$ . Với công nghệ ổn định, có kiểm tra chặt chẽ về thành phần của bê tông và chất lượng thi công có thể lấy  $v = 0,135$ . Với điều kiện thi công bình thường mà thiếu số liệu thống kê thì có thể lấy  $v = 0,15$ .

### c. Giá trị đặc trưng (cường độ đặc trưng)

Giá trị đặc trưng của cường độ (gọi tắt là cường độ đặc trưng) được xác định theo xác suất đảm bảo 95% (có nghĩa là trung bình khi thí nghiệm 100 mẫu thì có 95 mẫu có cường độ không thấp hơn  $R_{ch}$ ) và được tính toán theo công thức:

$$R_{ch} = R_m(1 - Sv) \quad (2.13)$$

Trong đó:  $S$  – hệ số lấy phụ thuộc vào xác suất bảo đảm. Với xác suất bảo đảm 95% thì  $S = 1,64$ .

### d. Giá trị tiêu chuẩn

Giá trị tiêu chuẩn cường độ của bê tông, gọi tắt là cường độ tiêu chuẩn, được lấy bằng cường độ đặc trưng của mẫu thử  $R_{ch}$  nhân với hệ số  $\gamma_{kc}$ . Hệ số này kể đến sự làm việc của bê tông thực tế trong kết cấu có khác với sự làm việc của mẫu thử.

Cường độ tiêu chuẩn về nén  $R_{bn}$ , về kéo  $R_{btk}$

$$R_{bn} = \gamma_{kc} \cdot R_{ch} \quad (2.14)$$

Hệ số  $\gamma_{kc}$  được lấy bằng  $0,7 \div 0,8$  tùy thuộc vào  $R_{ch}$ . Giá trị của  $R_{bn}$  và  $R_{btk}$  được cho ở phụ lục 11.

Cường độ tiêu chuẩn về nén  $R_{bn}$  có thể lấy bằng cường độ đặc trưng của mẫu hình trụ với  $h = 4a$  và thường được gọi là cường độ lăng trụ.

### e. Giá trị tính toán (cường độ tính toán)

Cường độ tính toán về nén của bê tông:

$$R_b = \frac{\gamma_{bi} \cdot R_{bn}}{\gamma_{bc}} \quad (2.15)$$

Cường độ tính toán về kéo của bê tông:

$$R_{bt} = \frac{\gamma_{bi} \cdot R_{bn}}{\gamma_{bt}} \quad (2.16)$$

$\gamma_{bc}$ ,  $\gamma_{bt}$ : hệ số độ tin cậy của bê tông khi chịu nén và kéo,  $\gamma_{bc} = 1,3 \div 1,5$ ;  $\gamma_{bt} = 1,3 \div 2,3$  tùy loại bê tông.

$\gamma_{bi}$ : hệ số điều kiện làm việc của bê tông, tra phụ lục 12.

#### 2.1.4. Mác bê tông và cấp độ bền

Để biểu thị chất lượng của bê tông về một tính chất nào đó người ta dùng khái niệm mac hoặc cấp độ bền

##### a. Mác bê tông

###### Mác bê tông theo cường độ chịu nén

Đây là khái niệm theo tiêu chuẩn cũ TCVN 5574 – 1991. Mác bê tông, kí hiệu bằng chữ M, là con số lấy bằng cường độ trung bình của mẫu thử chuẩn, tính theo đơn vị  $\text{kG/cm}^2$ . Mẫu thử chuẩn là khối vuông cạnh  $a = 15\text{cm}$ , tuổi 28 ngày, được dưỡng hộ và thí nghiệm theo điều kiện chuẩn  $t^0 = 27 \pm 2^0 \text{C}$ , độ ẩm không nhỏ hơn 95%.

Theo TCVN 5574 – 1991 có các mac M50; M75; M100; M150; M200; M250; M300; M350; M400; M450; M500; M600.

###### Mác bê tông theo cường độ chịu kéo

Kí hiệu: K ( $\text{kG/cm}^2$ ). K được lấy theo cường độ chịu kéo của mẫu thử tiêu chuẩn

Bê tông nặng: K10, K15, K20, K25, K30, K40.

Bê tông nhẹ: K10, K15, K20, K25, K30.

###### Mác bê tông theo khả năng chống thấm

Đối với các kết cấu có yêu cầu hạn chế thấm cần quy định mac theo khả năng chống thấm T, lấy bằng áp suất lớn nhất (atm) mà mẫu chịu được để nước không thấm qua.

Mác bê tông: T2, T4, T6, T8, T10, T12.

##### b. Cấp độ bền

###### Cấp độ bền chịu nén

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCXDVN356 – 2005 qui định phân biệt chất lượng bê tông theo cấp độ bền chịu nén, kí hiệu là B. Đó là con số lấy bằng cường độ đặc trưng của mẫu thử chuẩn, tính bằng đơn vị MPa. Mẫu thử chuẩn là khối vuông cạnh  $a = 15\text{cm}$ . Theo TCXDVN356 – 2005 bê tông có các cấp độ bền B3.5; B5; B7.5; B10; B12.5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60.



Như vậy tương quan giữa mac bê tông M và cấp độ bền B của cùng một loại bê tông thể hiện bằng biểu thức sau:

$$B = \alpha\beta M \quad (2.17)$$

Trong đó:  $\alpha$  – hệ số đổi đơn vị từ  $\text{kG/cm}^2$  sang MPa; lấy  $\alpha = 0,1$ ;

$\beta$  – hệ số chuyển đổi từ cường độ trung bình sang cường độ đặc trưng, với  $\nu = 0,135$  thì  $\beta = (1-S_\nu) = 0,778$ .

### **Cấp độ bền chịu kéo $B_t$**

Cấp độ bền chịu kéo  $B_t$  là con số lấy bằng cường độ đặc trưng về kéo của bê tông theo đơn vị MPa. Theo TCXDVN 356 – 2005 bê tông có các cấp độ bền chịu kéo như sau:  $B_t0.5$ ;  $B_t0.8$ ;  $B_t1.2$ ;  $B_t1.6$ ;  $B_t2.0$ ;  $B_t2.4$ ;  $B_t2.8$ ;  $B_t3.2$ ;  $B_t3.6$ ;  $B_t4.0$ .

## **2.1.5. Biến dạng của bê tông**

Biến dạng của bê tông xảy ra khá phức tạp gồm biến dạng ban đầu do co ngót, biến dạng do tải trọng gây ra (biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo), sự tăng biến dạng theo thời gian.

### **a. Biến dạng do co ngót**

Co ngót là hiện tượng bê tông giảm thể tích khi khô cứng trong không khí. Hiện tượng co ngót liên quan đến quá trình thủy hóa xi măng, đến sự bốc hơi lượng hơi nước thừa khi bê tông khô cứng. Co ngót xảy ra chủ yếu trong giai đoạn khô cứng đầu tiên của bê tông. Trong điều kiện bình thường, sau vài năm thì biến dạng tỉ đối do co ngót có thể đạt đến  $(3\div 5)10^{-4}$ .

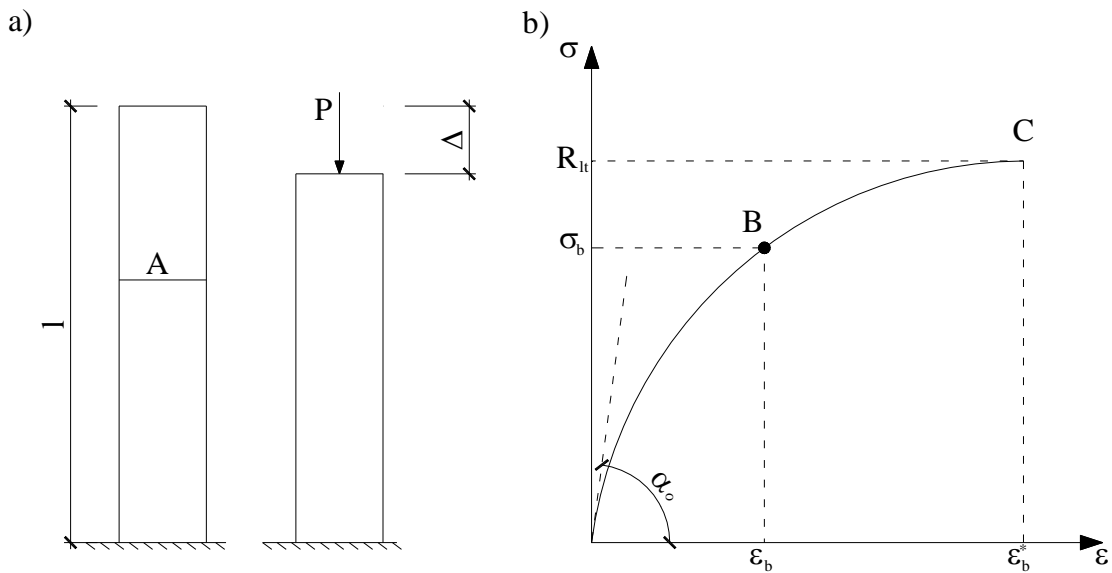
Sự co của mạng tinh thể bị cốt liệu cản trở gây ra ứng suất kéo ban đầu trong đá xi măng. Sự co không đều trong khối bê tông hoặc co ngót bị ngăn trở làm phát sinh ứng suất kéo và có thể làm bê tông bị nứt.

Các nhân tố chính liên quan đến co ngót:

- Trong môi trường khô co ngót lớn hơn trong môi trường ẩm ướt.
- Độ co ngót tăng lên khi dùng nhiều xi măng, dùng xi măng hoạt tính cao, khi tăng tỉ lệ nước – xi măng, khi dùng cốt liệu có độ rỗng, cát mịn, dùng chất phụ gia (trừ việc dùng phụ gia trương nở).
- Phương pháp thi công và chế độ bảo quản: hạn chế lượng nước trộn, đầm chặt bê tông, giữ cho bê tông thường xuyên ẩm ở giai đoạn đầu, đặt cốt thép nơi cần thiết, tạo các khe co giãn sẽ làm giảm co ngót.

Để giảm co ngót cần chọn thành phần thích hợp, hạn chế lượng nước trộn, đầm chặt bê tông, giữ cho bê tông thường xuyên ẩm trong giai đoạn đầu (dưỡng hộ). Để khắc phục ảnh hưởng xấu của co ngót cần dùng những biện pháp cấu tạo thích hợp, đặt cốt thép ở những nơi cần thiết, làm các khe co giãn trong kết cấu và tạo mạch ngừng khi thi công.

## b. Biến dạng do tải trọng tác dụng ngắn hạn



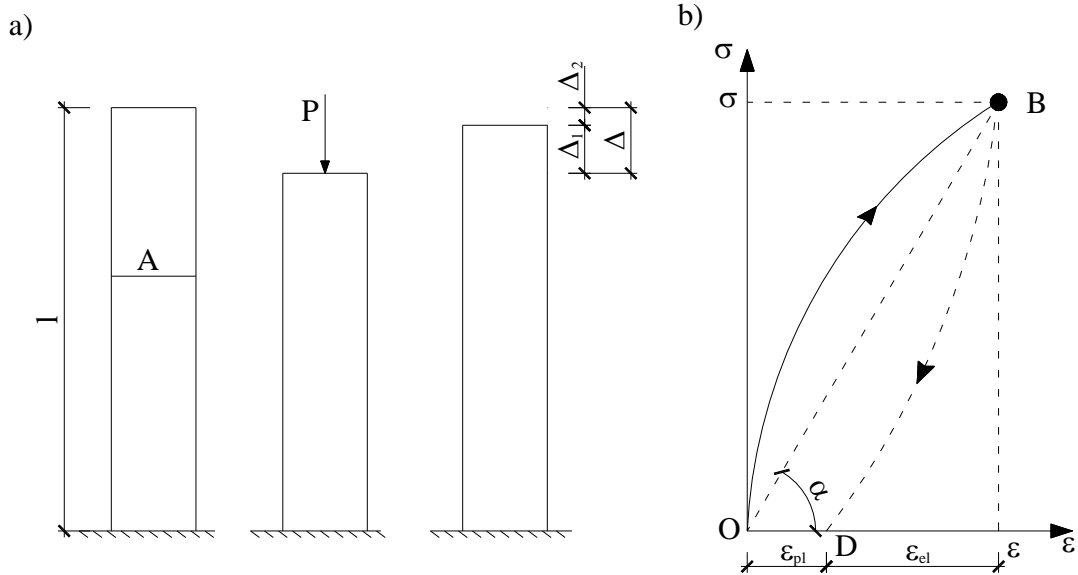
**Hình 2.5. Thí nghiệm và đồ thị ứng suất – biến dạng của bê tông**

Làm thí nghiệm nén với mẫu hình trụ có chiều dài là  $l$ , diện tích tiết diện  $A$ . Tác dụng lên mẫu lực nén  $P$ , đo được độ co ngắn  $\Delta$ . Tính được biến dạng tỉ đối  $\varepsilon_b = \frac{\Delta}{l}$  và ứng suất  $\sigma_b = \frac{P}{A}$ . Với mỗi giá trị của lực  $P$  có được một cặp giá trị  $\varepsilon_b, \sigma_b$  và có được một điểm B của đồ thị (h2.6b). Thay đổi (tăng dần) lực nén  $P$  có được đồ thị quan hệ giữa  $\varepsilon_b$  và  $\sigma_b$ . Kết quả thực nghiệm cho thấy đồ thị là một đường cong OBC. Điểm C ứng với lúc mẫu bị phá hoại, lúc này  $\sigma_b = R_t$  là cường độ của mẫu thử hình trụ và  $\varepsilon_b$  đạt đến biến dạng cực hạn của bê tông là  $\varepsilon_b^*$ .

Với mẫu hình trụ chịu nén đúng tâm  $\varepsilon_b^*$  đạt giá trị trung bình khoảng  $2 \times 10^{-3}$ . Trong các cấu kiện bê tông cốt thép chịu uốn, giá trị  $\varepsilon_b^*$  ở mép chịu nén có thể đạt giá trị lớn hơn  $3,5 \times 10^{-3}$ .

Khi gia tải đến một mức độ nào đó ( $P, \Delta$ ) rồi giảm tải, mẫu sẽ khôi phục lại biến dạng nhưng không đạt đến kích thước ban đầu mà bị hụt một lượng  $\Delta_2$ . Phần biến dạng hồi phục được  $\Delta_1$  là biến dạng đàn hồi, phần  $\Delta_2$  không phục hồi được là biến dạng dẻo.

Tương ứng có biến dạng tỉ đối đàn hồi  $\varepsilon_{el} = \frac{\Delta_1}{l}$  và biến dạng dẻo  $\varepsilon_{pl} = \frac{\Delta_2}{l}$ .



**Hình 2.6. Thí nghiệm và biểu đồ thể hiện biến dạng đàn hồi – dẻo của bê tông**

$$\Rightarrow \varepsilon_b = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} \quad (2.18)$$

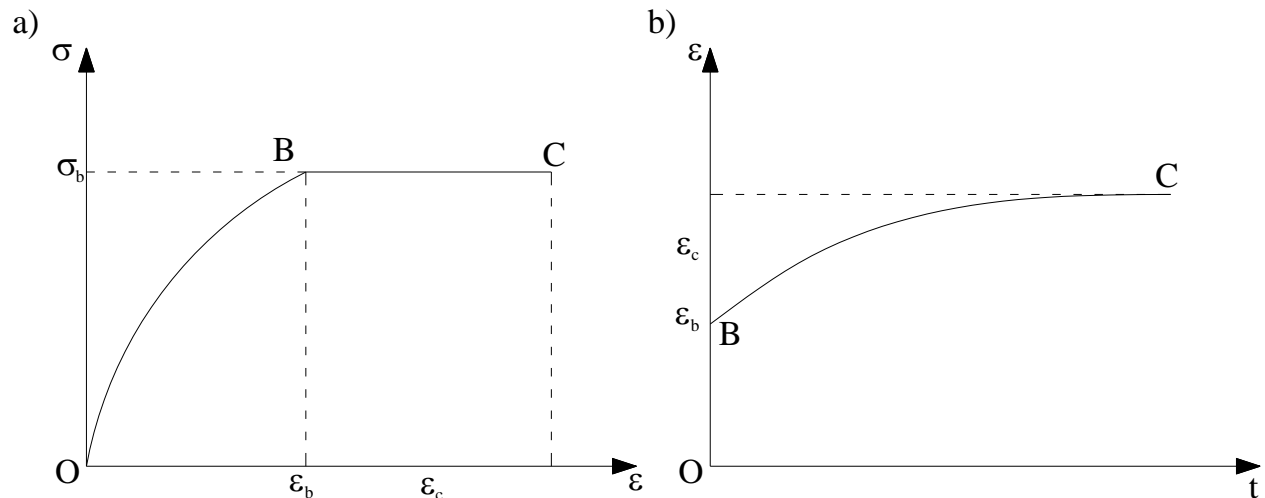
Đặt  $\nu = \frac{\varepsilon_{el}}{\varepsilon_b}$  gọi là hệ số đàn hồi của bê tông.

Khi  $\sigma_b$  còn bé, biến dạng chủ yếu là biến dạng đàn hồi, quan hệ  $\sigma - \varepsilon$  gần như đường thẳng, hệ số  $\nu$  gần bằng 1. Với ứng suất lớn, biến dạng dẻo tăng lên, hệ số  $\nu$  giảm dần. Ở giai đoạn phá hoại biến dạng dẻo chiếm phần lớn.

### c. Biến dạng do tải trọng tác dụng dài hạn – từ biến

Từ biến là hiện tượng biến dạng tăng theo thời gian.

Thí nghiệm nén mẫu với lực P có biến dạng ban đầu là  $\Delta$ . Giữ cho lực P tác dụng trong thời gian lâu dài thì biến dạng còn tăng thêm một lượng  $\Delta_c$ . Ký hiệu  $\varepsilon_c = \frac{\Delta_c}{l}$  và gọi là biến dạng từ biến, được thể hiện bằng đoạn BC trên hình 2.8.



**Hình 2.7. Đồ thị biểu diễn từ biến của bê tông**

Hình 2.7a thể hiện sự tăng biến dạng khi  $\sigma_b$  không đổi, tác dụng lâu dài.

Hình 2.7b thể hiện sự tăng biến dạng theo thời gian t.

Khi ứng suất  $\sigma_b$  tương đối bé (chưa vượt quá  $0.7R$ ) thì từ biến là có giới hạn, đường cong BC ở hình 2.7b có tiệm cận nằm ngang.

Khi  $\sigma_b$  khá lớn ( $\sigma_b > 0.85R$ ) thì từ biến phát triển không ngừng và dẫn đến mẫu thử bị phá hoại. Đó là sự giảm cường độ của bê tông khi tải trọng tác dụng lâu dài.

Từ biến phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Đặt  $r = \frac{\sigma_b}{R}$  là ứng suất tỉ đối. Khi r tăng lên thì  $\varepsilon_{tb}$  tăng.
- Tuổi của bê tông bắt đầu chịu tải càng lớn (bê tông càng già) thì từ biến giảm.
- Trong môi trường ẩm ướt từ biến ít hơn trong môi trường khô.
- Trong thành phần bê tông khi tỉ lệ nước – xi măng càng lớn và độ cứng cốt liệu càng bé thì từ biến tăng.
- Mác xi măng: dùng mác xi măng cao từ biến giảm.
- Phương pháp thi công tốt từ biến giảm.

Có thể biểu diễn từ biến qua các chỉ tiêu sau :

$$\text{Đặc trưng từ biến: } \varphi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{el}} \text{ , không thứ nguyên} \quad (2.19)$$

$$\text{Suất từ biến : } C = \frac{\varepsilon_c}{\sigma_b} \text{ có đơn vị } \text{MPa}^{-1} \text{ (hoặc } \text{cm}^2/\text{kG}) \quad (2.20)$$

Cả 2 chỉ tiêu  $\varphi$ , C đều tăng theo thời gian

Khi thời gian khá dài  $\varphi$  và  $C$  đạt đến giới hạn  $\varphi_0$  và  $C_0$ . Với bê tông nặng thông thường  $\varphi_0 = 1,8 \div 3,5$ ; suất từ biến  $C_0$  có thể tham khảo bảng dưới đây:

Tuổi của BT lúc chịu tải (ngày)	7	14	28	60	> 90
$C_0 \times 10^6$ (cm <sup>2</sup> /kG)	15	12	9	6	5

#### d. Biến dạng nhiệt

Đây là biến dạng thể tích khi nhiệt độ thay đổi, phụ thuộc vào hệ số nở vì nhiệt của bê tông  $\alpha_t$ . Hệ số này phụ thuộc vào loại xi măng, cốt liệu, trạng thái ẩm của bê tông và bằng khoảng  $(0,7 \div 1,5)10^{-5}/\text{độ}$ . Thông thường khi nhiệt độ thay đổi trong khoảng  $0 \div 100^\circ\text{C}$  lấy  $\alpha_t = 1 \times 10^{-5}$  để tính toán.

#### 2.1.6. Môđun đàn hồi của bê tông

Khi chịu nén:

Modun đàn hồi ban đầu của bê tông  $E_b$  được định nghĩa từ biểu thức:

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_{el}} = \text{tg} \alpha_o \quad (2.21)$$

$\alpha_o$  – góc lập bởi tiếp tuyến tại gốc tọa độ của biểu đồ  $\sigma - \varepsilon$  với trục  $\varepsilon$  (hình 2.5b).

$E_b$  phụ thuộc vào cấp độ bền và loại bê tông được cho ở phụ lục 1.

Modun đàn hồi dẻo  $E'_b$  (modun biến dạng) được định nghĩa theo biểu thức:

$$E'_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b} = \text{tg} \alpha \quad (2.22)$$

$\alpha$  – góc lập bởi các tuyến OB của biểu đồ  $\sigma - \varepsilon$  với trục  $\varepsilon$  (hình 2.6b)

Ta có  $\varepsilon_{el} = \nu \varepsilon_b$  rút ra quan hệ giữa  $E_b$  và  $E'_b$ :

$$E'_b = \nu E_b \quad (2.23)$$

$\nu$  – là hệ số đàn hồi.

Khi chịu kéo:

Modun đàn hồi của bê tông khi chịu kéo giống như khi chịu nén.

Modun đàn hồi dẻo khi kéo có giá trị là:  $E'_{bt} = \nu_t E_b$ , trong đó  $\nu_t$  là hệ số đàn hồi khi kéo. Thí nghiệm cho biết khi ứng suất kéo của bê tông đạt đến cường độ chịu kéo  $R_t$  thì  $\nu_t$  có giá trị trung bình là 0,5.

Hệ số nở ngang (hệ số Poát xông) của bê tông  $\mu_b$  lấy bằng 0,2. Modun chống cắt của bê tông  $G_b = \frac{E_b}{2(1+0,2)} \approx 0,4 E_b$ .

## 2.2. CỐT THÉP

### 2.2.1. Các loại cốt thép

Dựa vào thành phần hóa học và phương pháp luyện người ta định ra mác thép. Để làm cốt thép cho bê tông thường chỉ dùng một số mác thép các bon thấp và hợp kim thấp. Thép cacbon thường được dùng là CT3 và CT5 với tỉ lệ cac bon là 3‰ và 5‰. Khi tăng tỉ lệ cac bon thì cường độ của thép tăng, độ dẻo giảm và thép trở nên khó hàn.

Thép hợp kim thấp có thêm một số nguyên tố như mangan, crôm, silic, titan,... nhằm nâng cao cường độ, cải thiện một số tính chất của thép.

Cốt thép có  $\Phi \geq 10\text{mm}$  được sản xuất thành thanh có chiều dài thường không quá 13m (thường là 11,7m). Cốt thép có  $\Phi < 10\text{mm}$  được sản xuất thành cuộn, mỗi cuộn có trọng lượng dưới 500kg.

Sau khi sản xuất cốt thép bằng phương pháp cán nóng, cốt thép được đem dùng để xây dựng công trình. Một số cốt thép còn có thể được gia công nguội (kéo nguội, dập nguội) hoặc gia công nhiệt (tôi).

Thép kéo nguội được thực hiện bằng cách kéo các cốt thép sao cho ứng suất vượt quá giới hạn chảy của nó, làm như vậy sẽ tăng cường độ của thép nhưng làm giảm độ dẻo. Dây thép kéo nguội còn có thể được chuốt qua các khuôn có đường kính nhỏ dần để nâng cường độ lên cao hơn nữa. Dây thép kéo nguội thường có đường kính 3 ÷ 8 mm. Thép được gia công nhiệt bằng cách nung nóng đến nhiệt độ 950°C trong khoảng một phút rồi tôi nhanh vào nước hoặc dầu, sau đó nung trở lại đến 400°C và để nguội từ từ. Làm như vậy sẽ nâng cao cường độ của cốt thép và giữ được độ dẻo cần thiết.

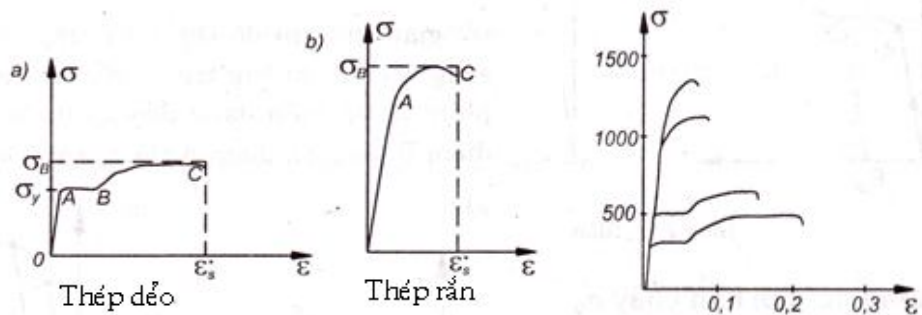
Về hình thức cốt thép được sản xuất thành các thanh có tiết diện tròn, mặt ngoài nhẵn (cốt thép trơn trơn) hoặc mặt ngoài có gờ (cốt thép có gờ hoặc cốt thép vằn). Các gờ trên bề mặt cốt thép có tác dụng nâng cao khả năng dính bám của nó với bê tông.

Để làm cốt cho bê tông cũng có thể dùng các thanh thép hình như thép góc, thép chữ U, chữ I. Đó là cốt thép cứng có khả năng chịu lực khi thi công.

## 2.2. Tính chất của cốt thép

### a. Biểu đồ ứng suất và biến dạng

Tính năng cơ học của cốt thép phụ thuộc vào thành phần hóa học và công nghệ chế tạo. Để biết được tính năng đó người ta thí nghiệm kéo mẫu thép và vẽ biểu đồ quan hệ ứng suất  $\sigma$  và biến dạng  $\epsilon$ . Dựa vào biểu đồ này phân biệt hai loại: thép dẻo và thép rắn.



**Hình 2.8. Biểu đồ  $\sigma - \epsilon$  của các loại thép**

*\* Thép dẻo*

Biểu đồ  $\sigma - \epsilon$  của thép dẻo được thể hiện trên hình 2.10a. Nó bao gồm một đoạn thẳng xiên OA, đoạn nằm ngang AB và đoạn cong BC. Đoạn OA ứng với giai đoạn làm việc đàn hồi, quan hệ giữa  $\sigma$  và  $\epsilon$  là quan hệ bậc nhất. Đoạn AB ứng với trạng thái chảy dẻo, biến dạng tăng trong khi ứng suất không tăng, được gọi là thêm chảy. Lúc này ta xác định được giới hạn chảy của cốt thép  $\sigma_y$ . Đoạn BC ứng với giai đoạn củng cố sau khi chảy dẻo, ứng suất và biến dạng tiếp tục tăng lên cho đến khi thép bị kéo đứt. Lúc này ta xác định được giới hạn bền  $\sigma_b$  và biến dạng cực hạn  $\epsilon_s^*$ .

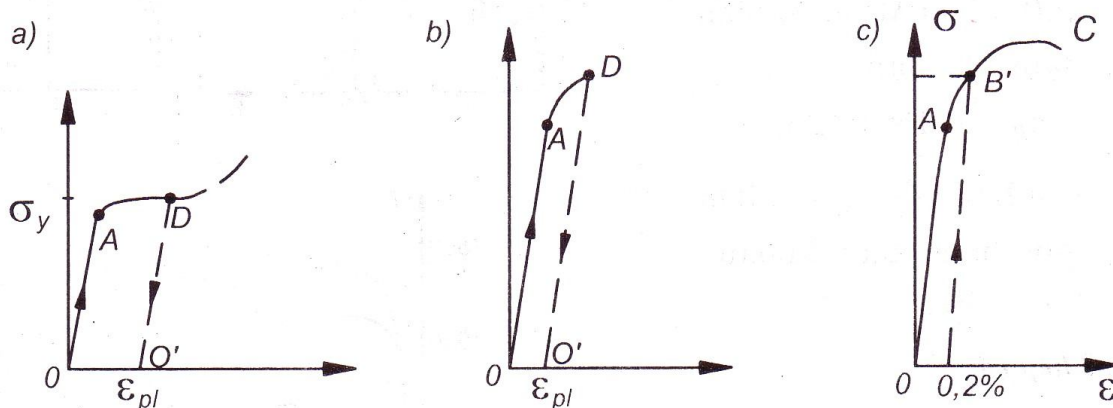
Các loại thép cacbon thấp và hợp kim thấp cán nóng thuộc loại thép dẻo, chúng có giới hạn chảy trong khoảng 200 – 500 MPa, có biến dạng cực hạn  $\epsilon_s^* = 0.15 \div 0.25$ .

Giới hạn bền lớn hơn giới hạn chảy khoảng 20% đến 40%.

*\* Thép rắn*

Biểu đồ  $\sigma - \epsilon$  thể hiện trên hình 2.8b, gồm đoạn thẳng OA và đoạn cong AC. Đoạn OA ứng với trạng thái làm việc đàn hồi. Đoạn cong AC ứng với giai đoạn cốt thép có biến dạng dẻo. Khi bị kéo đứt xác định được giới hạn bền  $\sigma_B$  và biến dạng cực hạn  $\epsilon_s^*$ . Cốt thép qua gia công nguội và gia công nhiệt thường thuộc loại này. Giới hạn bền của thép rắn vào khoảng 500 – 2000 MPa và biến dạng cực hạn  $\epsilon_s^* = 0.05 \div 0.1$ . Cốt thép rắn không có giới hạn chảy rõ ràng, người ta xác định giới hạn chảy quy ước.

**b. Biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo**



**Hình 2.9. Biến dạng dẻo của cốt thép**

Khi kéo thép trong giai đoạn đàn hồi (chưa đến điểm A) rồi giảm lực thì toàn bộ biến dạng được khôi phục, đường biến dạng  $\sigma - \varepsilon$  khi giảm lực trở về điểm O, gốc tọa độ. Khi kéo thép đến điểm D nào đó vượt quá điểm A (quá giới hạn đàn hồi) rồi giảm lực thì đồ thị  $\sigma - \varepsilon$  ứng với giảm lực là đường thẳng DO' song song với OA, không trở về gốc mà vẫn còn một phần biến dạng không hồi phục, đó là biến dạng dẻo  $\varepsilon_{pl}$  (hoặc biến dạng dư - xem hình 2.9). Khi điểm D càng xa điểm A thì  $\varepsilon_{pl}$  càng lớn.

Nếu kéo thép 1 lần nữa thì đường  $\sigma - \varepsilon$  sẽ là đường O'-D (hình 2.9a). Người ta lợi dụng tính chất này để gia công nguội cốt thép nhằm tăng giới hạn đàn hồi của nó. Thép đã được gia công kéo nguội sẽ có độ dẫn dài khi đứt bé hơn thép ban đầu.

### c. Giới hạn chảy $\sigma_y$

Về ứng suất, người ta thường xác định 3 giới hạn sau :

Giới hạn bền  $\sigma_B$  : bằng giá trị ứng suất lớn nhất thép chịu được trước khi bị kéo đứt

Giới hạn đàn hồi  $\sigma_{el}$  : lấy bằng ứng suất ở cuối giai đoạn đàn hồi

Giới hạn chảy  $\sigma_y$  : lấy bằng ứng suất ở đầu giai đoạn chảy

Đối với loại thép dẻo có giới hạn chảy rõ ràng thì dựa vào biểu đồ ứng suất - biến dạng xác định được

Đối với loại thép không có giới hạn đàn hồi và giới hạn chảy rõ ràng (cốt thép giòn), người ta qui định các giới hạn qui ước:

- Giới hạn đàn hồi qui ước là giá trị ứng suất  $\sigma_{el}$  ứng với biến dạng dư tỉ đối là 0,02%
- Giới hạn chảy qui ước là giá trị ứng suất  $\sigma_y$  ứng với biến dạng dư tỉ đối là 0,2% (hình 2.9c).



#### **d. Hiện tượng cứng nguội**

Lấy cốt thép đem đi kéo nguội cho qua giới hạn chảy (vượt quá điểm B) rồi giảm tải lúc này cốt thép đã có biến dạng dẻo, tiếp tục kéo nguội biến dạng theo đường GE. Ban đầu thêm chảy là AB sau khi kéo nguội thêm chảy là EC và cứ tiếp tục kéo nguội thì thêm chảy của thép giảm dần cho tới khi mất hẳn, lúc đó thép dẻo trở thành thép rắn. Hiện tượng này gọi là hiện tượng cứng nguội

#### **e. Cường độ tiêu chuẩn của cốt thép $R_{sn}$**

Cường độ tiêu chuẩn của cốt thép  $R_{sn}$  được lấy bằng cường độ giới hạn chảy với xác suất bảo đảm không dưới 95%.

$$R_{sn} = \sigma_y^m (1 - Sv) \quad (2.24)$$

Trong đó

$\sigma_y^m$  - giá trị trung bình của giới hạn chảy khi thí nghiệm kéo một số mẫu;

$S = 1,64$  ứng với xác suất đảm bảo 95%;

$v$  - hệ số biến động, nếu sản xuất hiện đại, đạt tiêu chuẩn thì  $v = 0,05 \div 0,08$

#### **f. Cường độ tính toán của cốt thép $R_s, R_{sc}$**

Cường độ tính toán của thép được xác định:

$$R_s = \beta \cdot \frac{R_{sn}}{k_s} \cdot m_s \quad (2.25)$$

$k_s$ : hệ số an toàn về cường độ của vật liệu.

$k_s = 1,1 \div 1,25$  với cốt cán nóng.

$k_s = 1,5 \div 1,75$  với sợi kéo nguội và sợi cường độ cao.

$m_s$ : hệ số điều kiện làm việc của vật liệu

Các giá trị  $R_s, R_{sc}$  được tra ở phụ lục 7.

#### **g. Mô đun đàn hồi của cốt thép $E_s$**

Mô đun đàn hồi của cốt thép  $E_s$  được lấy bằng độ dốc của đoạn OA trên biểu đồ  $\sigma - \epsilon$ .

$E_s = 180\,000 - 210\,000$  MPa, tùy thuộc loại thép.

### 2.2.3. Cốt thép dẻo và cốt thép rắn

Cốt thép dẻo là những loại thép có thêm chảy khá rõ hay có biến dạng dư khá lớn (CT3, CT5), suất giãn dài (biến dạng cực hạn) khi đứt lớn ( $10 \div 25$ )%.

Cốt thép rắn (giòn) có giới hạn không rõ ràng gần bằng giới hạn bền  $\epsilon_{ch} = 3\% \div 4\%$

### 2.2.4. Độ dẻo của cốt thép

Độ dẻo của cốt thép được đặc trưng bởi biến dạng dư toàn phần của mẫu thí nghiệm kéo, hoặc đánh giá bằng cách uốn nguội quanh trục có đường kính bằng 3 - 5 lần đường kính của nó, nếu thép sợi có thể bẻ gấp nhiều lần ...

Độ dẻo của thép ảnh hưởng đến việc gia công và sự làm việc của nó trong kết cấu BTCT. Nếu độ dẻo thấp, thép có thể bị kéo đứt hoặc gãy đột ngột.

### 2.2.5. Tính hàn được

Tính hàn được của cốt thép biểu thị bởi sự đảm bảo liên kết chắc chắn khi hàn nối, không có vết nứt, không có khuyết tật của kim loại ở mối hàn và xung quanh. Tính hàn được phụ thuộc vào thành phần của thép và cách chế tạo. Các thép cán nóng bằng thép chứa ít cacbon và thép hợp kim thấp có tính hàn được khá tốt. Không được phép hàn các cốt thép đã qua gia công nguội hoặc gia công nhiệt vì nhiệt độ cao ở mối hàn làm giảm cường độ của cốt thép.

### 2.2.6. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Cốt thép bị nung nóng ở nhiệt độ cao sẽ bị thay đổi về cấu trúc kim loại, cường độ và modun đàn hồi đều giảm xuống, sau khi để nguội trở lại cường độ được hồi phục không hoàn toàn.

Khi chịu lạnh quá mức (dưới  $-30^{\circ}\text{C}$ ) một số thép cán nóng trở nên giòn, đó là hiện tượng giòn nguội. Thép kéo nguội và gia công nhiệt cũng bị giòn nguội nhưng ở nhiệt độ thấp hơn thép cán nóng.

Hệ số giãn nở vì nhiệt của thép vào khoảng  $1 \times 10^{-5} / \text{độ}$ .

### 2.2.7. Một số tính chất khác

Hiện tượng gia cường: với cốt thép dẻo nếu kéo vượt quá giới hạn chảy rồi buông thì biến dạng dư lớn, giới hạn đàn hồi và giới hạn chảy tăng, độ dẻo giảm. Do vậy người ta thường kéo nguội để nâng cao cường độ (khống chế ứng suất và biến dạng < 4,5%).

Từ biến và chùng ứng suất: xảy ra khi thép chịu ứng suất cao và nhiệt độ cao trong thời gian dài.

- ✓ Từ biến là hiện tượng tăng biến dạng do lực.
- ✓ Chùng ứng suất là hiện tượng giảm ứng do biến dạng.
- ✓ Từ biến và chùng ứng suất phụ thuộc vào tính chất cơ học và thành phần hóa học của cốt thép, vào công nghệ chế tạo và điều kiện sử dụng. Với cốt thép thường từ biến và chùng ứng suất không đáng kể, chỉ xét tới đối với thép cường độ cao.

Giới hạn mỏi: cường độ và ứng suất của cốt thép giảm xuống khi nó chịu tải trọng rung động lặp đi lặp lại nhiều lần.

- ✓ Giới hạn mỏi phụ thuộc vào số chu kỳ tải trọng, đặc tính mỗi chu kỳ, lực dính giữa bê tông và cốt thép, vết nứt trong vùng bê tông chịu kéo, chất lượng mối nối hàn.
- ✓ Thép gia cường nhiệt có giới hạn mỏi thấp hơn thép cán nóng, do vậy không dùng các cốt thép này trong các kết cấu cần kiểm tra về mỏi.

### 2.2.8. Phân nhóm cốt thép :

Theo tiêu chuẩn Việt Nam :

Theo tiêu chuẩn Nhà nước về "*Thép cán nóng, thép cốt bê tông TCVN 1651-1985*", dựa vào tính năng cơ học, phân thép thành 4 nhóm CI, CII, CIII, CIV.

CI : thanh tròn nhẵn.

CII có gờ xoắn vít theo một chiều

CIII, CIV : có gờ xiên theo hai chiều

Theo các tiêu chuẩn khác :

Nga phân cốt thép thành các nhóm:

- Cốt thép cán nóng nhóm A-I, A-II, A-III, A-IV (tương tự cách chia nhóm TCVN), còn có thêm A-V.

- Thép qua gia công nhiệt.

- Thép sợi kéo nguội ...

Pháp phân loại theo giới hạn chảy : FeE230, FeE400, FeE500

Tương quan giữa mác thép và nhóm thép: Mács thép (CT3, CT5,...) được định ra và kí hiệu chủ yếu dựa vào thành phần hóa học và công nghệ chế tạo, còn nhóm cốt thép (A-I, A-II,...) được phân chia theo đặc trưng cơ học. Hai cách phân chia này là khác nhau

nhưng liên quan với nhau vì đặc trưng cơ học do thành phần và cách luyện thép quyết định (A-I chế tạo từ thép than CT3; A-II chế tạo từ thép than CT5,...)

### 2.2.9. Chọn dùng cốt thép

Chọn dùng cốt thép phải xuất phát từ nhiệm vụ của kết cấu và điều kiện xây dựng.

- ✓ Với cốt thép chịu lực nên chọn loại CII, CIII.
- ✓ Lưới hàn nên dùng sợi thép thường kéo nguội.
- ✓ Thép C<sub>I</sub> được dùng ở lưới buộc trong bản, làm thép đai, thép cấu tạo trong dầm và cột
- ✓ Cốt thép nhóm C<sub>IV</sub>, A<sub>V</sub> (cán nóng) và các cốt thép qua gia công nhiệt A<sub>T-IV</sub>, A<sub>T-V</sub> chỉ nên làm cốt dọc trong khung buộc.
- ✓ Đối với kết cấu chịu áp lực khí hoặc chất lỏng nên dùng CI, CII, CIII, sợi thép thường kéo nguội.
- ✓ Đối với kết cấu chịu nóng nên dùng cốt thép cán nóng  $d \leq 25\text{mm}$  khi  $t \leq 100^{\circ}\text{C}$ ,  $d \leq 20\text{mm}$  khi  $t \leq 200^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Đối với kết cấu chịu lạnh (đến  $-40^{\circ}\text{C}$ ): dùng các sợi thép, cốt cán nóng với hàm lượng cacbon thấp.

Khi dùng thép phải biết rõ các chỉ tiêu và đặc tính kỹ thuật của nó.

## 2.3. BÊ TÔNG CỐT THÉP

### 2.3.1. Sự kết hợp giữa bê tông và cốt thép

Bê tông là vật liệu đá nhân tạo giòn có  $R_b$  tốt  $R_{bt}$  kém, thép là loại vật liệu đàn hồi có độ dẻo tương đối lớn có cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khá cao. Bê tông và cốt thép là sự kết hợp hợp lý giữa hai loại vật liệu có tính chất cơ học khác nhau để tạo nên một loại vật liệu mới có nhiều ưu điểm.

Bê tông cốt thép có thể cùng cộng tác chịu lực là do:

- Bê tông và cốt thép dính chặt với nhau nhờ lực dính nên có thể truyền lực từ bê tông sang cốt thép, hoặc ngược lại. Lực dính có tầm quan trọng hàng đầu đối với bê tông cốt thép, nhờ lực dính mà cường độ cốt thép mới được khai thác triệt để, giảm bề rộng vết nứt ở miền bê tông chịu kéo... Chính vì thế ta phải tìm ra các biện pháp để tăng cường lực dính giữa bê tông và cốt thép.

- Giữa bê tông và cốt thép không xảy ra phản ứng hóa học, đồng thời bê tông còn bảo vệ cốt thép chống lại các tác dụng ăn mòn của môi trường.

- Cốt thép và bê tông có hệ số giãn nở nhiệt  $\alpha$  gần bằng nhau ( $\alpha_{bt} = 0,000010$  đến  $0,000015$ ;  $\alpha_{ct} = 0,000012$ ). Do đó khi nhiệt độ thay đổi trong phạm vi thông thường (dưới

100°C) trong cấu kiện không xuất hiện nội ứng suất đáng kể, không làm phá hoại lực dính giữa bê tông và cốt thép.

### 2.3.2. Các nhân tố tạo nên lực dính

Nhờ có lực dính mà bê tông và cốt thép cùng tham gia chịu lực, cùng biến dạng và có sự chịu lực qua lại lẫn nhau.

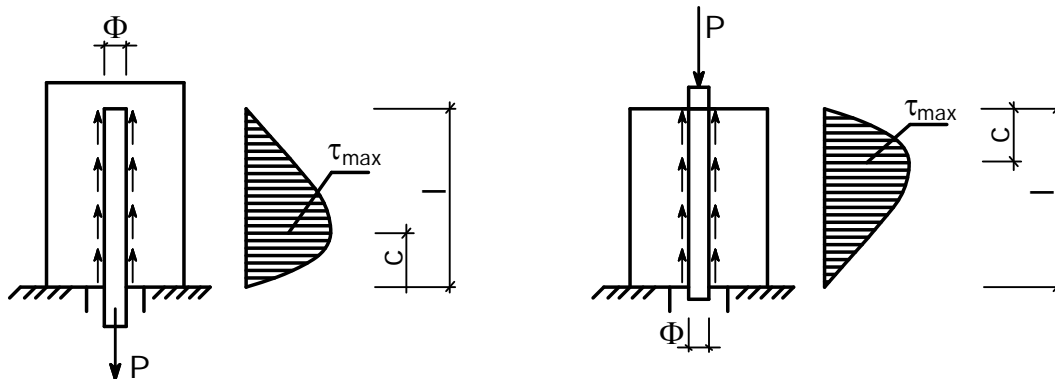
Lực gắn kết của chất keo trong vữa xi măng (chiếm 20% tổng số lực dính).

Lực ma sát sinh ra do sự gồ ghề trên bề mặt tiếp xúc. Nếu dùng cốt thép có gờ thì ma sát tăng (2÷3) lần cốt thép trơn.

Co ngót của bê tông làm giảm thể tích, bê tông sẽ ôm chặt vào cốt thép dẫn đến lực dính tăng lên. Cần phải đảm bảo lực dính để công nhận một giả thuyết ban đầu là biến dạng của bê tông bằng biến dạng của cốt thép ( $\varepsilon_s = \varepsilon_b$ ).

### 2.3.3. Thí nghiệm xác định lực dính

Chế tạo mẫu bằng cách đổ bê tông ôm lấy đoạn cốt thép.



Hình 2.11. Thí nghiệm xác định lực dính

Cường độ trung bình của lực dính  $\bar{\tau} = \frac{P}{\pi \phi l}$

Trong đó: P là lực kéo (hoặc nén) làm cốt thép tụt ra khỏi bê tông .

Φ là đường kính thanh thép

l là chiều dài đoạn cốt thép chôn trong bê tông

(Nếu chiều dài đoạn cốt thép quá lớn thì khi thí nghiệm, cốt thép có thể bị kéo hoặc nén quá giới hạn chảy (thậm chí có thể bị kéo đứt ) mà không bị tụt)

⇒ Cần hạn chế chiều dài đoạn cốt thép trong phạm vi nào đó (thực nghiệm cho thấy  $l_{neo}=(15-20)\Phi$  là đủ)

Kết quả thí nghiệm cho thấy sự phân bố lực dính dọc theo đoạn cốt thép là không đều, bằng không tại hai đầu mút và đạt giá trị  $\tau_{\max}$  ở tiết diện cách tiết diện phía đặt lực một khoảng C.

$$C = (1/4 \div 1/3)l,$$

$$\bar{\tau} = \omega \tau_{\max} \text{ hoặc } \tau_{\max} = \frac{P}{\omega \pi \phi l}$$

Trong đó:  $\omega$  là hệ số hoàn chỉnh biểu đồ lực dính,  $\omega < 1$ .

Lực dính sẽ tăng lên khi:

- ✓ Tăng lượng xi măng, tăng mác bê tông, giảm N/X, tăng tuổi bê tông.
- ✓ Bê tông được rắn kết trong điều kiện nhiệt độ, độ ẩm tốt.
- ✓ Bê tông được thi công có chấn động.

#### 2.3.4. Các nhân tố ảnh hưởng đến lực dính

Khi cốt thép bị nén lực dính lớn hơn khi cốt thép chịu kéo.

Khi đổ bê tông mà cốt thép đặt đứng lực dính lớn hơn so với cốt thép đặt nằm ngang.

Nếu tăng đường kính cốt thép thì khi chịu nén  $\tau_{tb}$  tăng, khi chịu kéo  $\tau_{tb}$  giảm.

Tăng mác xi măng, lượng xi măng, N/X, tuổi bê tông thì lực dính tăng.

Tăng chiều dài đoạn cốt thép chôn trong bê tông thì  $\tau_{\max}$  không thay đổi nhưng  $\tau_{tb}$  giảm. Lực dính tăng chậm hơn khi l khá dài, từ một đoạn nào đó trở đi ứng suất tiếp  $\tau = 0$  thì đoạn đó là đoạn neo ( $l_{an}$ ). Trong đoạn neo này xảy ra sự truyền lực từ cốt thép sang bê tông.

Khi cốt thép trượt, các gờ của nó làm cho bê tông nở ngang. Dùng các biện pháp chống nở ngang cho bê tông như cốt lò xo, lưới thép ôm lấy bê tông sẽ làm tăng lực dính.

#### 2.3.5. Trị số lực dính

Lực dính bám phụ thuộc vào chất lượng bê tông, bề mặt cốt thép và trạng thái chịu lực.

Công thức thực nghiệm (Nga) xác định lực dính:

$$\tau_{\max} = \frac{\alpha R_{bn}}{m}$$

Trong đó:  $R_{bn}$  – cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông

$m$  – hệ số phụ thuộc vào bề mặt cốt thép. Với cốt thép tròn trơn  $m = 5 \div 6$ ;

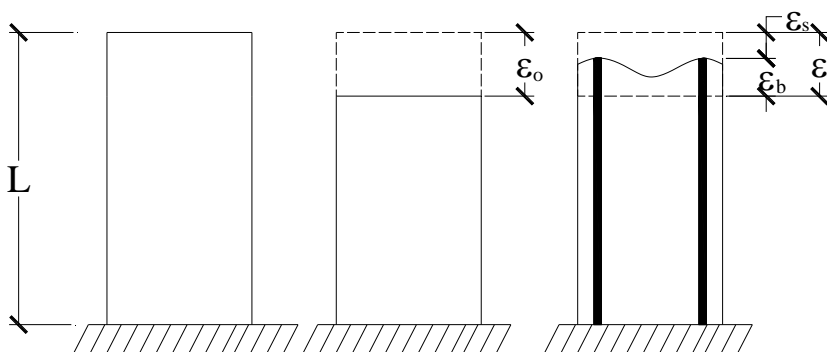
thép có gờ  $m = 3 \div 3.5$ ;

$\alpha$  – hệ số phụ thuộc trạng thái chịu lực. Khi cốt thép chịu kéo  $\alpha = 1$ ; cốt thép chịu nén  $\alpha = 1.5$

## 2.3.6. Sự làm việc chung giữa bê tông và cốt thép

### a. Ảnh hưởng của co ngót và từ biến

Khảo sát thanh bê tông không cốt thép và có cốt thép đặt dọc theo trục.



Hình 2.12: Biến dạng co ngót

#### Nhận xét:

Đối với thanh bê tông không cốt thép: biến dạng do co ngót là  $\varepsilon_0$

Đối với thanh bê tông có cốt thép: Bê tông dính bám với cốt thép mà cốt thép không co ngót nên nó cản trở sự co của bê tông, kết quả là thanh bê tông cốt thép có biến dạng do co ngót là  $\varepsilon_s < \varepsilon_0$

Xét một cách tương đối thì thanh thép bị bê tông làm biến dạng nén  $\varepsilon_s \rightarrow$  trong cốt thép phát sinh ứng suất nén  $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$ . Ngược lại, bê tông bị cốt thép chống lại sự co và chịu một biến dạng kéo là  $\varepsilon_b \rightarrow$  trong bê tông xuất hiện ứng suất kéo  $\sigma_t = \nu_t \varepsilon_b E_b$  ( $\nu_t$  – hệ số đàn hồi của bê tông khi chịu kéo)

Nếu  $\sigma_t$  vượt quá giới hạn chịu kéo  $R_{bt}$ , bê tông sẽ bị nứt. Đó là nứt do co ngót của bê tông bị cản trở.

### b. Ứng suất do ngoại lực gây ra

Xét trường hợp đơn giản là thanh bê tông cốt thép chịu nén hoặc chịu kéo mà bê tông chưa bị nứt, bê tông và cốt thép cùng làm việc chung, có cùng biến dạng là  $\varepsilon$ .

Ứng suất trong bê tông:  $\sigma_b = \nu E_b \varepsilon \rightarrow \varepsilon = \sigma_b / \nu E_b$

Trong đó  $\nu$  là hệ số đàn hồi của bê tông

Ứng suất trong cốt thép:  $\sigma_s = \varepsilon E_s = \frac{\sigma_b}{\nu E_b} \cdot E_s$

Đặt  $n_s = \frac{E_s}{\nu E_b}$ , rút ra  $\sigma_s = n_s \sigma_b$

Giá trị hệ số tương đương  $n_s$  thay đổi trong khoảng 8 – 20.

Kí hiệu: N – Lực dọc (nén hoặc kéo)

$A_s$ ;  $A_b$  diện tích tiết diện ngang của cốt thép và của bê tông

Từ điều kiện cân bằng lực viết được phương trình:

$$N = A_b \sigma_b + A_s \sigma_s = \sigma_b (A_b + n_s A_s).$$

Đặt  $A_{td} = A_b + n_s A_s$  gọi là diện tích của tiết diện tương đương.

Trong cấu kiện chịu kéo hoặc ở vùng kéo của cấu kiện chịu uốn, sau khi bê tông bị nứt thì phần nội lực do bê tông chịu được truyền sang cốt thép và cốt thép chịu toàn bộ nội lực kéo.

### 2.3.7. Sự hư hỏng và sự phá hoại của bê tông cốt thép

#### a. Sự phá hoại do chịu tải

Bê tông và cốt thép làm việc chung với nhau cho đến khi bị phá hoại.

- Với thanh chịu kéo, sau khi bê tông bị nứt cốt thép chịu toàn bộ lực kéo và nó được xem là bắt đầu phá hoại khi ứng suất trong cốt thép đạt đến giới hạn chảy.

- Với cấu kiện chịu nén thì sự phá hoại bắt đầu khi ứng suất nén trong bê tông đạt đến cường độ chịu nén, bê tông bị nén vỡ.

- Đối với cấu kiện chịu uốn thì sự phá hoại có thể bắt đầu từ vùng chịu kéo hoặc từ vùng chịu nén. Khi cốt thép chịu kéo là vừa phải thì sự phá hoại từ vùng chịu kéo với việc cốt thép đạt đến giới hạn chảy, có biến dạng lớn, vết nứt mở rộng. Khi cốt thép chịu kéo đặt khá nhiều thì sự phá hoại bắt đầu từ vùng nén với việc ứng suất trong bê tông đạt đến cường độ chịu nén, vùng nén bị phá vỡ.

#### b. Sự hư hỏng do tác dụng của môi trường.

Bê tông cốt thép có thể bị hư hỏng do tác dụng cơ, lý, hoá, sinh vật.

- Về cơ học và vật lý: Bê tông có thể bị bào mòn do mưa, dòng chảy, bị nung nóng do mặt trời hoặc các nguồn nhiệt khác, do va chạm,...

- Về sinh học: rong, rêu, hà, những vi khuẩn ở sông, biển làm hư hỏng bề mặt bê tông do tác dụng với những chất hoá học do chúng tiết ra.

- Về hóa học: Bê tông bị xâm thực bởi các chất hoá học (muối, axit, ...) có trong môi trường.

- Cốt thép có thể bị xâm thực do tác dụng hoá học và điện phân của môi trường. Khi cốt thép bị gỉ thì thể tích thanh thép tăng lên rất nhiều so với thanh thép ban đầu chưa gỉ, nó chèn ép lên bê tông làm bê tông bị nứt vỡ.

#### c. Các biện pháp bảo vệ

Chọn loại kết cấu và vật liệu thích hợp.

Tổ chức thông thoáng tốt

Trung hòa các dung dịch, các hơi axit có trong môi trường

Đảm bảo chất lượng vật liệu và kỹ thuật thi công.



Đảm bảo lớp bê tông bảo vệ theo yêu cầu  
Sơn trát các lớp bảo vệ.