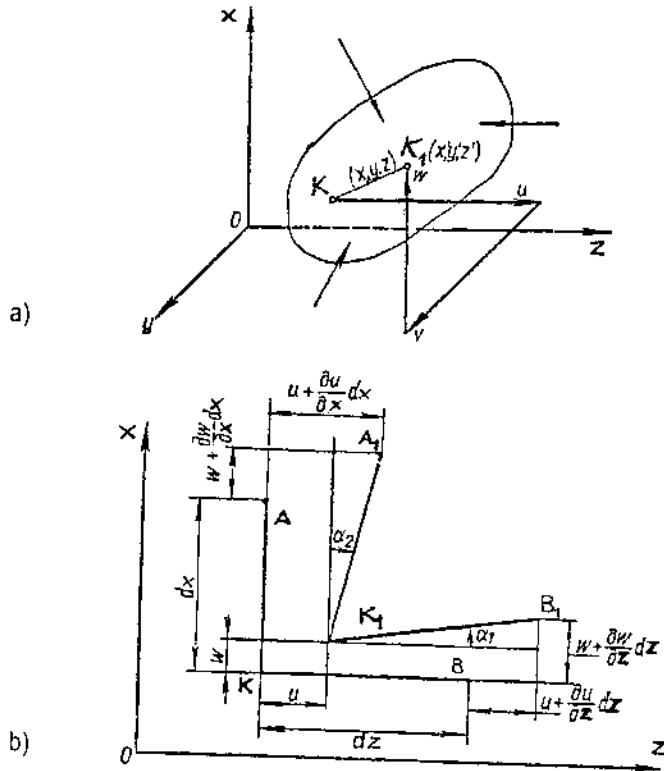


## 5. Biến dạng và chuyển vị

Dưới tác dụng của môi trường ngoài (tải trọng, nhiệt độ...) vật thể bị biến dạng. Xét điểm K trong vật thể đó (hình 8-4).



Hình 8-4

Điểm K trước khi biến dạng có tọa độ  $x, y, z$  và ở trạng thái biến dạng có vị trí mới  $K_1$  với các tọa độ  $x', y', z'$ . Sự thay đổi vị trí của một điểm K như vậy được gọi là chuyển vị của điểm đó. Chuyển vị này gồm hai loại: loại thứ nhất là chuyển vị của vật rắn tuyệt đối (không có biến dạng) và loại thứ hai là chuyển vị liên quan đến biến dạng của vật thể. Trong phần này ta chỉ nghiên cứu loại thứ hai.

Khi bị biến dạng điểm K có vị trí  $K_1$ . Vectơ  $\vec{KK}_1$  gọi là vectơ chuyển vị của điểm K có các thành phần theo phương  $x, y, z$  là  $w, v, u$ . Do đó chuyển vị của điểm A lân cận điểm K có thể viết:

$$w_A = w_K + \frac{\partial w_K}{\partial x} dx$$

Đại lượng  $\epsilon_x = \frac{\partial w}{\partial x}$  gọi là biến dạng dài tỷ đối theo phương x của điểm K.

Tương tự ta có theo các phương y và z các biến dạng:

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{và} \quad \epsilon_z = \frac{\partial u}{\partial z}$$

Sự thay đổi góc vuông AKB trong mặt phẳng xOy, tương tự như vậy trong các mặt phẳng còn lại được gọi là biến dạng góc hay biến dạng trượt trong các mặt phẳng đó và ký hiệu là:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} ; \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} ; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

### III. ĐẶC TRUNG CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU

Để đảm bảo cho hệ làm việc được an toàn về độ bền, độ cứng và độ ổn định thì ta cần phải biết đặc tính ứng xử của từng loại vật liệu trong các điều kiện chất tải khác nhau. Điều này chỉ có thể giải quyết bằng con đường thí nghiệm. Các thí nghiệm này cho ta các đặc trưng bằng số của từng loại vật liệu. Những đặc trưng như thế gọi là đặc trưng cơ học của vật liệu. Từ những đặc trưng này người ta tìm những điều kiện toán học để đảm bảo sự làm việc an toàn cho hệ.

Thí nghiệm thường dùng nhất là thí nghiệm kéo và nén. Vì kết quả của thí nghiệm này có thể ứng dụng cho những trường hợp biến dạng khác nhau. Trong mục này chúng ta lần lượt nghiên cứu các thí nghiệm kéo và nén đối với vật liệu khác nhau.

Các vật liệu cổ điển được chia làm hai loại là vật liệu dẻo và vật liệu giòn.

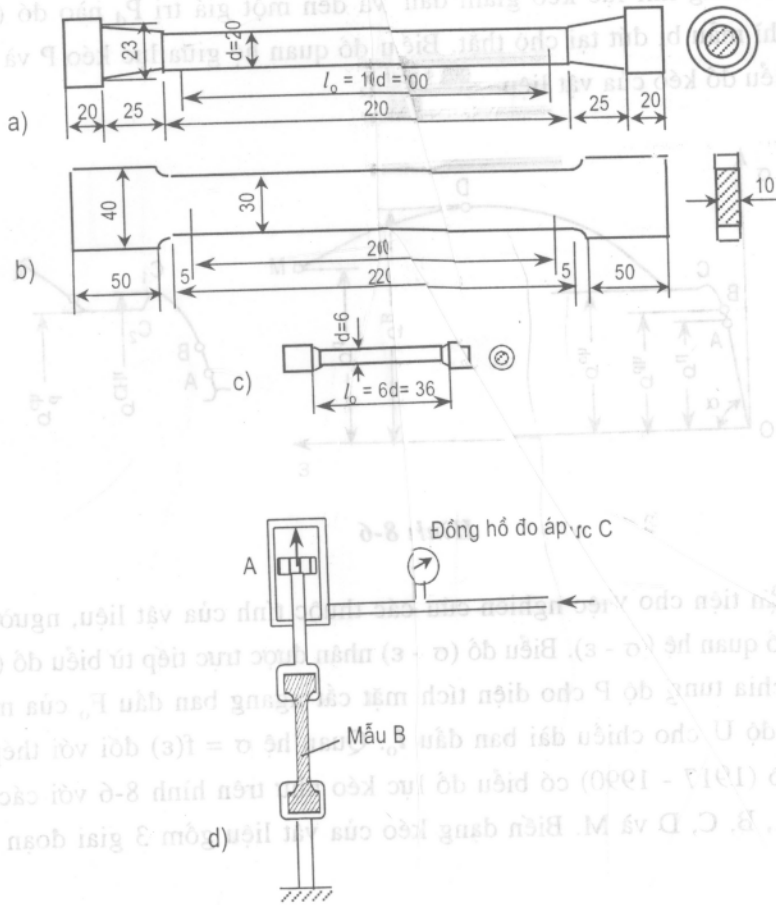
- Vật liệu dẻo là vật liệu có biến dạng dư (biến dạng dẻo) tương đối lớn trước khi cấu kiện bị phá huỷ (như thép, đồng...).

Vật liệu giòn là vật liệu hầu như không có biến dạng dư trước lúc bị phá hỏng (gang, gạch, đá, bê tông v.v...).

Nói một cách chính xác không phải về vật liệu dẻo hay giòn mà là về sự phá huỷ của chúng là phá huỷ dẻo hay giòn.

# 1. Thí nghiệm kéo vật liệu dẻo

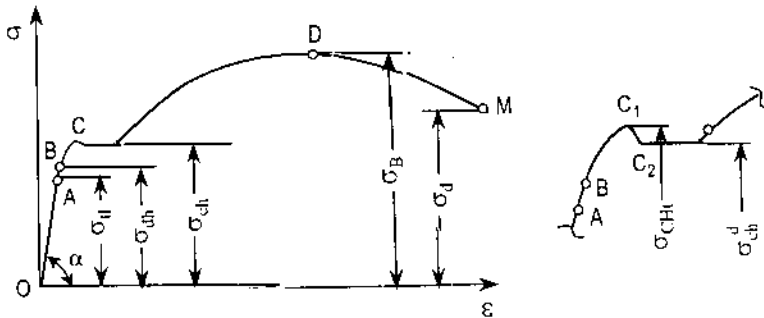
Để tiến hành thí nghiệm trước hết phải chế tạo các mẫu thí nghiệm theo tiêu chuẩn từng nước. Trên hình 8-5 là những mẫu thử tròn và dẹt được dùng ở Việt Nam.



Hình 8-5

Phần thanh có chiều dài  $l_0$  gọi là phần làm việc của mẫu. Thiết bị tạo lực kéo mẫu trong thí nghiệm có thể là các thiết bị cơ khí hoặc thủy lực. Hình 8-5d là sơ đồ nguyên lý của máy thí nghiệm có thiết bị thủy lực. Nhờ áp lực dầu trong trụ A tăng lên từ từ mà piston được nâng lên và tạo ra lực kéo trong mẫu B. Lực kéo mẫu có thể xác định bởi giá trị đo trên đồng hồ đo áp lực C.

Để có những kết quả thí nghiệm chuẩn xác, sau khi kẹp chặt mẫu vào máy, người ta cho lực kéo mẫu tăng chậm chậm từ giá trị không. Quá trình biến dạng của mẫu được máy vẽ thành biểu đồ ( $\sigma - \epsilon$ ) trên hình 8-6. Ta thấy chiều dài mẫu tăng dần, chiều ngang hẹp dần cho đến khi lực kéo  $P$  đạt trị số cực đại  $P_0$  thì có một chỗ nào đó trên mẫu bị thắt hẳn lại (ứng với điểm D). Sau đó thanh tiếp tục bị giãn dài trong khi lực kéo giảm dần và đến một giá trị  $P_0$  nào đó (ứng với điểm M) thì mẫu bị đứt tại chỗ thắt. Biểu đồ quan hệ giữa lực kéo  $P$  và độ giãn  $U$  gọi là biểu đồ kéo của vật liệu.



Hình 8-6

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu các thuộc tính của vật liệu, người ta sử dụng biểu đồ quan hệ ( $\sigma - \epsilon$ ). Biểu đồ ( $\sigma - \epsilon$ ) nhận được trực tiếp từ biểu đồ ( $P - U$ ) bằng cách chia tung độ  $P$  cho diện tích mặt cắt ngang ban đầu  $F_0$  của mẫu và chia hoành độ  $U$  cho chiều dài ban đầu  $l_0$ . Quan hệ  $\sigma = f(\epsilon)$  đối với thép CT3 của Liên Xô (1917 - 1990) có biểu đồ lực kéo như trên hình 8-6 với các điểm đặc trưng A, B, C, D và M. Biến dạng kéo của vật liệu gồm 3 giai đoạn chính sau:

\* Giai đoạn thứ nhất:

Vật liệu có tính đàn hồi tuyệt đối, quan hệ  $\sigma = f(\epsilon)$  là quan hệ tuyến tính được biểu diễn bởi đoạn thẳng OA:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (8-1)$$

Giai đoạn này gọi là giai đoạn tỷ lệ. Quan hệ (8-1) được gọi là định luật Húc khi kéo.  $E$  là môđun đàn hồi dọc (hay young) của vật liệu. Gọi  $P_{01}$  là giá trị

lớn nhất của lực kéo trong giai đoạn này và  $F_0$  là diện tích mặt cắt ngang ban đầu của mẫu thử, ta có:

$$\sigma_{11} = \frac{P_{11}}{F_0} \quad (8-2)$$

Ứng suất  $\sigma_{11}$  gọi là giới hạn tỷ lệ (đối với thép CT3,  $\sigma_{11} = 21 \text{ kN/cm}^2 \approx 210 \text{ MN/m}^2$ ).

Độ dốc của đoạn OA xác định bằng môđun đàn hồi E:

$$\text{tg}\alpha = E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (8-3)$$

Kể từ trên điểm A biểu đồ không còn quan hệ tuyến tính nữa và từ đó định luật Húc mất hiệu lực. Ở rất gần điểm A trên đoạn cung này của biểu đồ có một điểm B, ứng suất ứng với nó ký hiệu là  $\sigma_{dh}$  và được gọi là giới hạn đàn hồi. Trong các tiêu chuẩn kỹ thuật  $\sigma_{dh}$  được xác định khi mà biến dạng dư của mẫu thử đạt được 0,05% và viết  $\sigma_{dh} = \sigma_{0,05}$ .

*\* Giai đoạn thứ hai:*

Biến dạng đồng biến với lực chút ít rồi tăng rõ rệt trong khi lực không tăng được nữa (đoạn nằm ngang kể từ C). Ta gọi đoạn này là giai đoạn chảy dẻo. Lực kéo ứng với giai đoạn này được ký hiệu là  $P_{ch}$ .

Ứng suất: 
$$\sigma_{ch} = \frac{P_{ch}}{F_0} \quad (8-4)$$

được gọi là giới hạn chảy (đối với thép CT3,  $\sigma_{ch} = 24 \text{ kN/cm}^2 \approx 240 \text{ kN/m}^2$ ).

Trong giai đoạn chảy, nếu quan sát mẫu làm bằng thép ít cacbon được mài nhẵn, ta thấy những vết gợn nghiêng với trục thanh một góc  $45^\circ$ . Đó là những vết gây ra do sự trượt giữa các tinh thể vật liệu. Những vết trượt này được gọi là đường Liudertrenop.

*\* Giai đoạn thứ ba:*

Sau khi kết thúc giai đoạn chảy dẻo, trong vật liệu lại xuất hiện khả năng "tự củng cố". Cụ thể là biến dạng chỉ có thể tăng nếu lực kéo mẫu tăng. Biểu đồ trong giai đoạn này là một đường cong trơn.

Ứng suất ứng với điểm D cao nhất trong giai đoạn này gọi là giới hạn bền.

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad (8-5)$$

(đối với thép CT3,  $\sigma_B = 40 \text{ kN/cm}^2 \approx 400 \text{ kN/m}^2$ ).

Sau khi đạt giới hạn bền thì có một chỗ nào đó trên mẫu thử bị thắt lại và từ lúc đó biến dạng tiếp tục tăng nghịch biến với lực cho đến khi mẫu bị đứt ứng với điểm M.

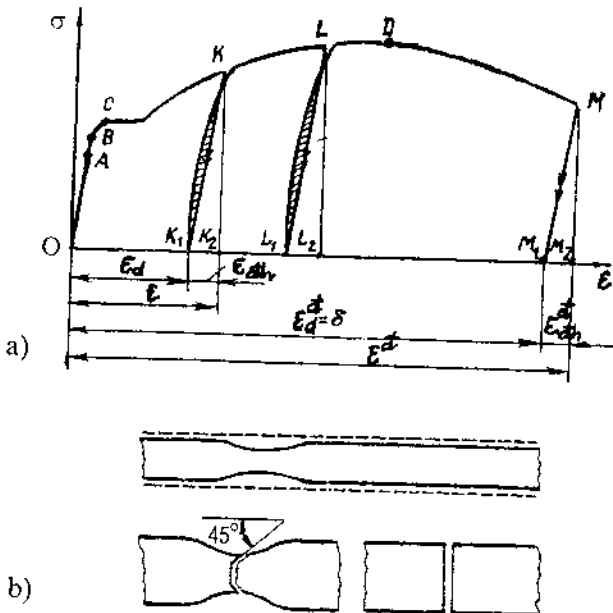
Cần lưu ý rằng giới hạn bền được quy định ở trên chỉ mang một đặc trưng quy ước nào đó. Giới hạn bền này không phải là ứng suất gây ra sự phá huỷ vật liệu. Bởi vì, khi phá huỷ mặt cắt ngang của mẫu thử nhỏ hơn nhiều so với mặt cắt ngang của nó.

Nếu bắt đầu từ một điểm K nào đó trên biểu đồ (hình 8-7), ta hạ tải cho mẫu thì biểu đồ ( $\sigma - \epsilon$ ) diễn ra theo đường  $KK_1$  hầu như song song với đoạn OA. Biến dạng tỷ đối của mẫu ứng với điểm K là:

$$\epsilon = OK_2 = OK_1 + K_1K_2 = \epsilon_d + \epsilon_{dh}$$

trong đó:  $OK_1 = \epsilon_d$  là phần biến dạng dư;

$K_1K_2 = \epsilon_{dh}$  là phần biến dạng đàn hồi.



Hình 8-7

Nếu sau khi hạ tải đến điểm  $K_1$ , ta lại tăng tải lên mẫu thì biểu đồ diễn ra theo đường cong  $K_1KDM$  thay cho đường cong  $OACDM$  ứng với mẫu lúc ban đầu chưa hạ tải lần nào. Qua biểu đồ cho thấy khi đã chất tải vào mẫu quá giới hạn chảy và sau đó là quá trình hạ tải thì thuộc tính cơ học của vật liệu mẫu bị thay đổi. Cụ thể là thêm chảy biến mất, giới hạn tỷ lệ được nâng cao và biến dạng toàn phần khi đứt bị giảm ( $K_1M_2 < OM_2$ ), nghĩa là mẫu thử hình như trở nên giòn hơn. Sự thay đổi thuộc tính như vậy của vật liệu được gọi là hiện tượng (hoá giòn hoặc tái bền) biến cứng nguội.

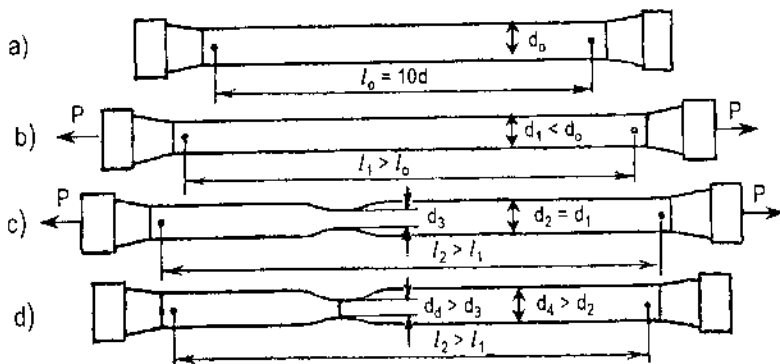
Phần diện tích gạch sọc trên biểu đồ gọi là miền trễ. Hiện tượng tái bền không chỉ phát sinh khi chịu biến dạng kéo (nén) mà còn phát sinh ở bất kỳ biến dạng nào.

Nếu lặp lại quá trình hạ tải rồi tăng tải ở điểm  $L$  nào đó thì biểu đồ ( $\sigma - \epsilon$ ) lặp lại hoàn toàn hiện tượng đã mô tả trên.

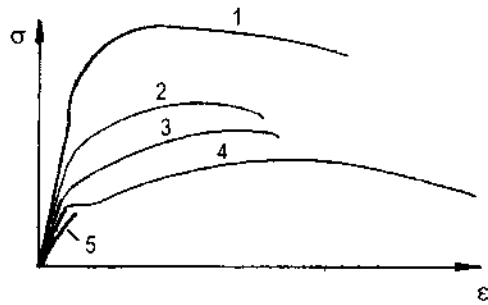
Tính song song của các đoạn  $OA, K_1K, L_1L, M_1M$  chứng tỏ là khi hạ tải môđun đàn hồi dọc của vật liệu không thay đổi.

Một vài hình ảnh của một mẫu thử tiêu chuẩn ở những thời điểm khác nhau, khi thử kéo cho trên (hình 8-8). Trong đó:

- a) là hình ảnh mẫu trước thí nghiệm;
- b) là hình ảnh mẫu chịu ứng suất nhỏ hơn giới hạn bền;
- c) là hình ảnh mẫu trước khi đứt;
- d) là hình ảnh mẫu sau khi đứt.



Hình 8-8



Hình 8-9

Sau khi đứt biến dạng đàn hồi không còn nữa, vì thế  $l_d < l_0$ .

Các ứng suất đặc trưng cho ba giai đoạn biến dạng khảo sát ở trên, cụ thể  $\sigma_{tl}$ ,  $\sigma_{ch}$ ,  $\sigma_B$ , được gọi là những đặc trưng về độ bền của vật liệu. Để xác định khả năng về biến dạng của vật liệu cho đến lúc đứt, người ta căn cứ vào hai đại lượng sau đây:

- Độ dài dư tương đối của mẫu sau khi đứt:

$$\delta = \frac{l_d - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_d}{l_0} \quad (8-6)$$

(đối với thép CT3,  $\delta = 21 \div 23\%$ )

- Độ thất dư tương đối của mặt cắt ngang nơi bị đứt:

$$\Psi = \frac{F_0 - F_d}{F_0} = \frac{\Delta F_d}{F_0} \quad (8-7)$$

ở đây:  $F_0$  - diện tích mặt cắt ngang của mẫu trước biến dạng;

$F_d$  - diện tích mặt cắt ngang của mẫu tại chỗ bị đứt

(đối với thép CT3,  $\Psi \approx 60 \div 70\%$ ).

Để thấy rõ đặc điểm làm việc khác nhau trong suốt quá trình biến dạng kéo của những vật liệu khác nhau, ta hãy quan sát và so sánh các biểu đồ kéo được vẽ trên cùng hệ tọa độ ( $\sigma - \epsilon$ ). Trên hình 8-9, đường 1 là thép hợp kim titan (TB4), đường 2 là thép CT6, đường 3 là đũa 16, đường 4 là thép CT3 và đường 5 là biểu đồ kéo một mẫu vật liệu giòn - gang.

Ngày nay việc tạo ra những thép có độ bền cao với tính dẻo dầy đủ là một nhiệm vụ rất quan trọng của các nhà luyện kim. Điều đó cắt nghĩa rằng, khi thép có cường độ cao thì tính dẻo giảm và thép trở nên giòn hơn. Và, nếu như



vật thì khả năng chịu tải trọng động của loại vật liệu này rất kém. Để khắc phục những mâu thuẫn nói trên, người ta thường pha vào thép những lượng nhất định của các chất phụ trợ như đồng, niken, crôm v.v... Những thép như thế được gọi là thép hợp kim.

## 2. Thí nghiệm kéo vật liệu giòn

Vật liệu giòn chịu kéo rất kém, nên bị phá hỏng đột ngột ngay khi độ giãn còn rất nhỏ. Nhìn biểu đồ đường 4 (hình 8-10) ta thấy không có giai đoạn tỷ lệ và giai đoạn chảy dẻo, biểu đồ là một đường cong ngay từ khi ứng suất còn rất nhỏ. Tuy vậy, trong giới hạn làm việc, thông thường đối với vật liệu giòn, vẫn có thể áp dụng định luật Húc, nghĩa là thay thế gần đúng đoạn cong của biểu đồ bằng một đoạn thẳng. Với vật liệu giòn ta chỉ có giới hạn bền là:

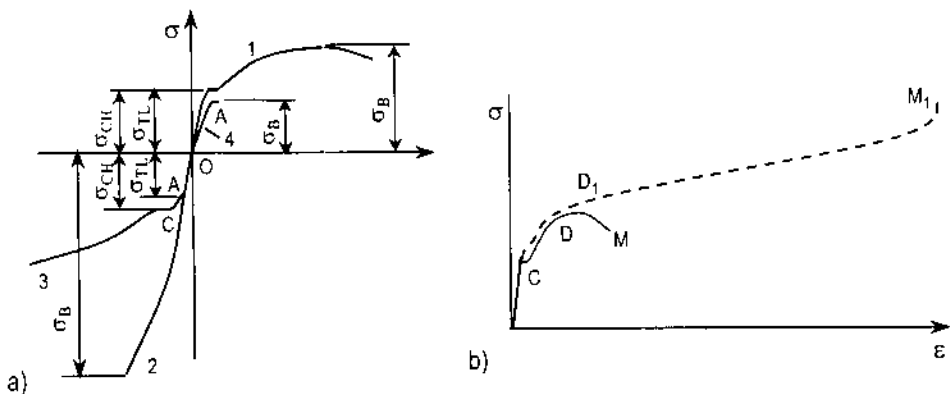
$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad (8-8)$$

Nếu đem so sánh với vật liệu dẻo thì giới hạn này rất nhỏ.

Khi bị nén vật liệu cũng bị phá huỷ ngay khi biến dạng còn bé, nhưng giới hạn bền có trị số lớn hơn nhiều so với khi kéo.

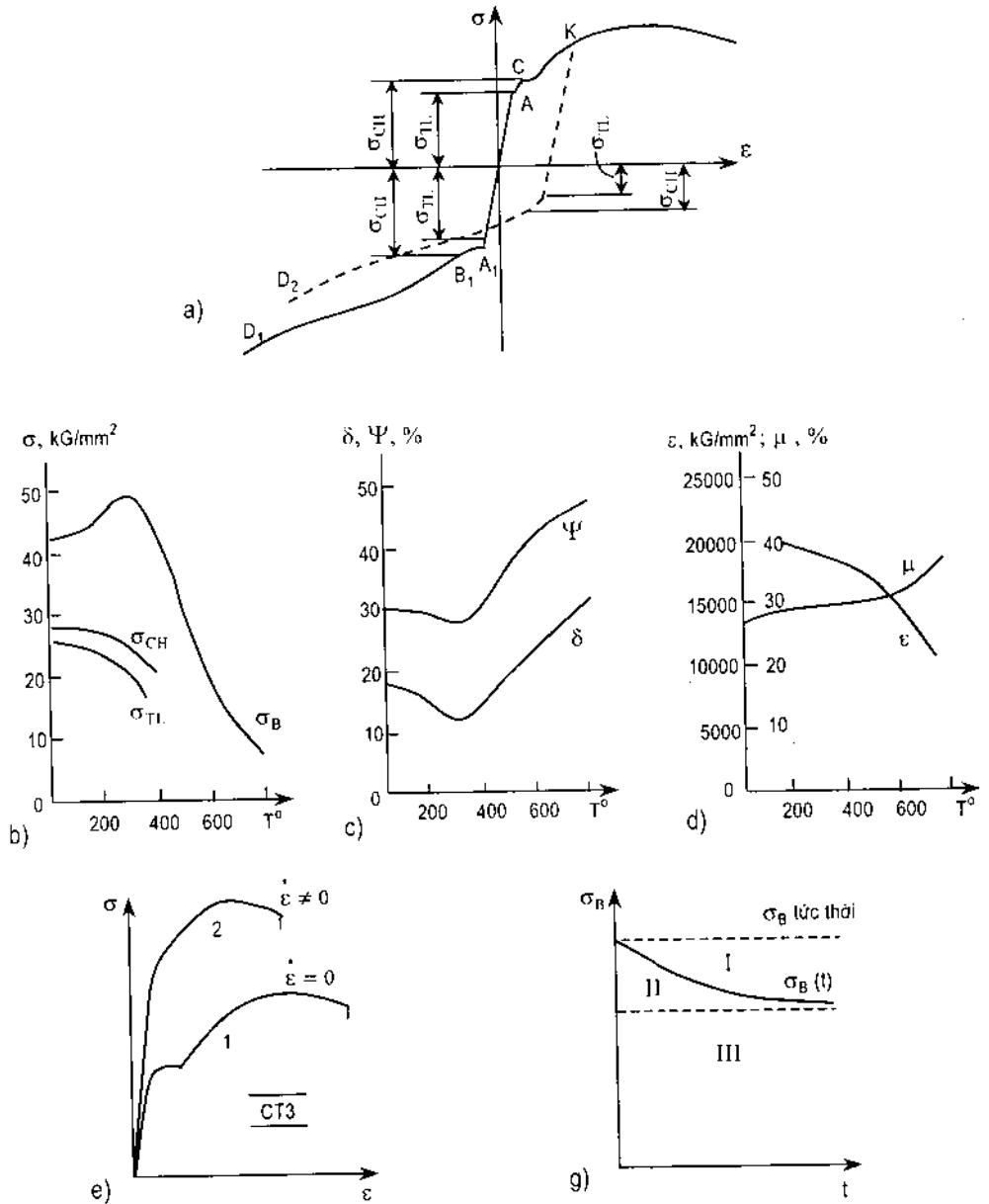
*Ví dụ:* đối với gang xám, khi kéo  $\sigma_{Bk} = 140 \div 130 \text{ kN/mm}^2$ , khi nén  $\sigma_{Bn} = 600 \div 1000 \text{ kN/mm}^2$ .

Biểu đồ ( $\sigma - \epsilon$ ) thực và quy ước đối với thép ít cacbon được cho trên (hình 8-10b). Qua đây ta thấy biểu đồ thực ( $\sigma - \epsilon$ ) chỉ có ý nghĩa lý thuyết. Bởi vì, trong các tính toán thực hành, ứng suất tính toán không được vượt quá giới hạn chảy và trong giới hạn này biểu đồ thực và quy ước trùng nhau.



Hình 8-10

Trên hình 8-11 là các biểu đồ biểu diễn hiệu ứng Bao-xing-ghe (trên hình 8-11a), sự thay đổi của  $\sigma_{II}$ ,  $\sigma_{CH}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta$ ,  $\Psi$ ,  $E$ ,  $\mu$  (hình 8-11b, c, d) theo nhiệt độ, sự phụ thuộc của ứng suất và biến dạng vào tốc độ chất tải tĩnh (đường 1) và động (đường 2) và sự thay đổi của giới hạn bền  $\sigma_B$  theo thời gian (hình 8-11e, g).



Hình 8-11