

CHƯƠNG 2

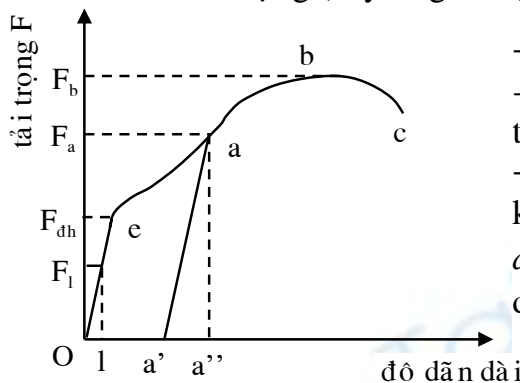
BIẾN DẠNG DẼO VÀ CƠ TÍNH

Đa số vật liệu, đặc biệt là kim loại, thường được bán dưới dạng các bán thành phẩm dưới dạng: dây, thanh, hình, ống, tấm, lá, băng... nhờ biến dạng dẻo (cán), hoặc các phôi rèn → khả năng biến dạng dẻo không những giúp hiểu biết cơ sở quá trình mà còn giúp đề ra các biện pháp nâng cao cơ tính, khắc phục những khuyết tật.

2.1. Biến dạng dẻo và phá hủy

2.1.1. Khái niệm

Biểu đồ tải trọng (hay ứng suất) vs biến dạng hình 2.1. cho thấy:



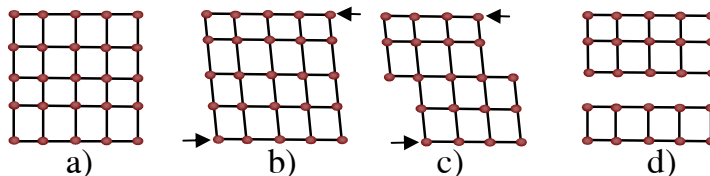
- Khi $F < F_{dh}$, độ giãn dài Δl tỷ lệ bậc nhất với tải trọng → biến dạng đàn hồi. Với F_1 → biến dạng O1, bỏ tải trọng mẫu lại trở lại kích thước ban đầu.
- Khi $F > F_{dh}$, độ biến dạng tăng nhanh theo tải trọng, khi bỏ tải trọng biến dạng vẫn còn lại một phần → biến dạng dẻo. Khi $F = F_a$ → biến dạng Oa'', khi $F = 0$ → biến dạng Oa' → biến dạng dẻo hay dư,

Hình 2.1. Biểu đồ kéo kim

- Nếu tiếp tục tăng tải trọng đến giá trị cao nhất F_b , mẫu bị thắt lại → tải trọng = const (hoặc ↓) nhưng ứng suất ↑ → phá hủy ở điểm c.

Sự biến đổi về mạng tinh thể ở ba trạng thái trên trình bày ở hình 2.2.

Hình 2.2. Sơ đồ biến đổi mạng tinh thể khi lần lượt tăng tải trọng ban đầu (a), biến dạng đàn hồi (b), biến dạng dẻo (c), phá hủy (d)



Khi biến dạng đàn hồi thì biến dạng nhỏ $\Delta a < a$, biến dạng dẻo thì $\Delta a > a$, với a là thông số mạng

phá hủy các liên kết bị hủy hoại dẫn đến đứt rời.

Biến dạng dẻo = cách trượt (đôi khi xảy ra bằng song tinh), ở đây chỉ giới hạn khả năng biến dạng dẻo dưới hình thức này.

2.1.2. Trượt đơn tinh thể

Trượt là sự chuyển dời tương đối giữa các phần của tinh thể theo những mặt và phương nhất định gọi là mặt và phương trượt (hình 2.3.)

a. Các mặt và phương trượt

Mặt trượt là mặt (tường tượng) phân cách giữa hai mặt nguyên tử dày đặc nhất mà theo đó sự trượt xảy ra.

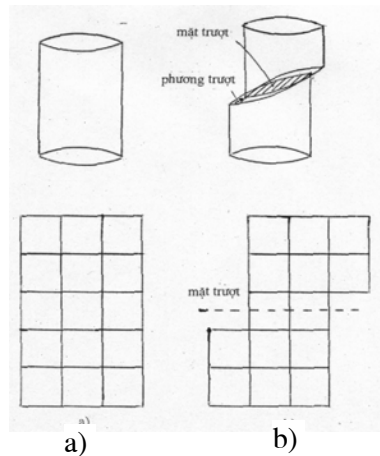
Các mặt và phương trượt của ba kiểu mạng tinh thể thường gặp được trình bày ở hình 2.4:

- Mạng lfm (A1): mặt trượt $\{111\}$, (4 mặt x 3 phương) = 12 hệ trượt chỉ khác nhau.

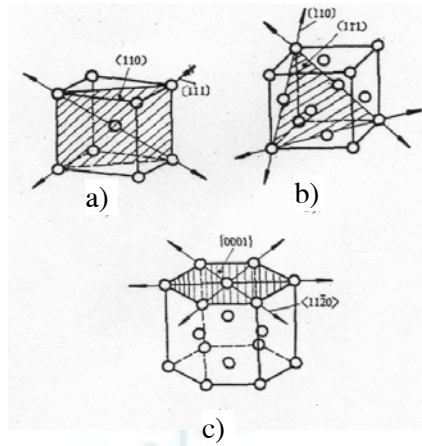
- Mạng lfk (A2): mặt trượt $\{110\}$, (6 mặt x 2 phương) = 12 hệ trượt chỉ khác nhau.

- Mạng lgxc (A3): mặt trượt, (1 mặt x 3 phương) = 3 hệ trượt chỉ khác nhau.

- Ngoài các mặt, phương trượt chính kể trên còn có khả năng bị trượt theo các mặt, phương dày đặc khác tuy không phải là dày đặc nhất.



Hình 2.3. Sơ đồ biểu diễn sự trượt: a. đơn tinh thể và mạng tinh thể trước khi trượt, b. hình dạng đơn tinh thể và mạng tinh thể sau khi trượt.



Hình 2.4. Các mặt và phương trượt cơ bản của kim loại:

- a. lập phương tâm khối, <100>
- b. lập phương tâm mặt, <111>
- c. lục giác xếp chặt, <0001>

- Khả năng biến dạng dẻo của kim loại tỷ lệ thuận với số hệ trượt chính: số hệ trượt càng cao → khả năng trượt càng lớn → kim loại càng dễ biến dạng dẻo

- Thực tế đã chứng tỏ điều này: Fe_γ, Al, Ag, Cu... (mạng A1) dẻo và dễ dát mỏng hơn Zn (A3).

Số với lftk (A2) mạng lftm (A1) tuy cùng 12 hệ trượt nhưng dễ trượt hơn → tính dẻo cao hơn

b. Ứng suất gây ra trượt

Định luật Schmid.

Khi $\tau > \tau_{th}$ (xác định đối với từng kim loại) → trượt mới xảy ra. Giá trị của $\tau = ?$

$$\tau = \frac{F}{S} \cos\alpha \cdot \cos\beta = \frac{F}{S_0} \sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta$$

trong đó F/S_0 là ứng suất kéo σ_0 thay vào ta có:

$$\tau = 0,5\sigma_0 \sin 2\alpha \cos\beta.$$

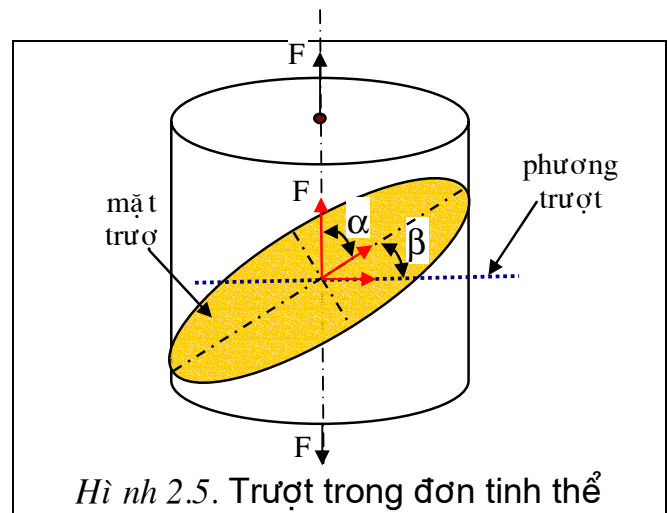
Gọi $\cos\alpha \cdot \cos\beta$ là thừa số Schmid. Ứng suất gây ra trượt τ phụ thuộc vào góc β & α qua thừa số Schmid.

Khi $\alpha = 90^\circ$ hay $\beta = 90^\circ \rightarrow \tau = 0$, lực F chỉ là m phá hủy mà không xảy ra biến dạng dẻo.

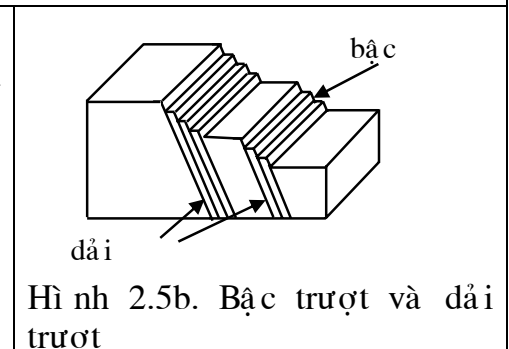
Khi $(\alpha + \beta) \neq 90^\circ$, $\tau_{max} = 0,5\sigma_0$ khi $\alpha = \beta = 45^\circ$.

Hệ trượt nào có τ_{max} → thuận lợi nhất → trượt xảy ra trước → các hệ ít thuận lợi hơn.

Hình thái của trượt: hình 2.2c và 2.3b: các bậc trượt, dải trượt.



Hình 2.5. Trượt trong đơn tinh thể

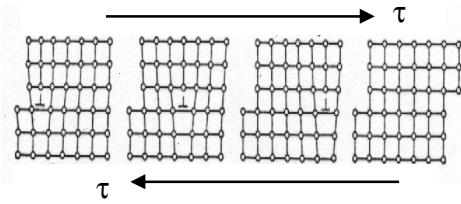


Hình 2.5b. Bậc trượt và dải trượt

c. Tỷ lệ dễ trượt - cơ chế trượt

Độ bền lý thuyết: $\tau_{t.h} \approx \frac{G}{2\pi}$, \rightarrow rất cao. Thực tế có lệch $\tau_{t.h} \approx \frac{G}{10^3 \div 8 \cdot 10^4}$ rất nhỏ

Hình 2.6. Mô hình trượt trong mạng tinh thể thực tế (có lệch biên)



2.1.3. Trượt đa tinh thể Vật liệu kim loại thực tế luôn luôn là VL đa tinh thể.

a. Các đặc điểm

Đặc điểm của trượt đa tinh thể:

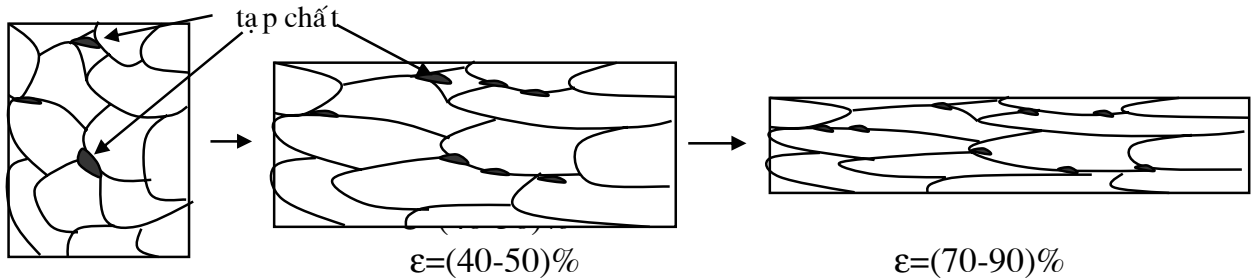
- 1) Các hạt bị biến dạng không đồng thời với mức độ khác nhau
- 2) Có tính đẳng hướng: số hạt vô cùng lớn
- 3) Đa tinh thể có độ bền cao hơn: Các hạt cản trở biến dạng lẫn nhau, biên hạt cản trượt. \rightarrow lực cao hơn \rightarrow độ bền cao hơn.

4) Hạt càng nhỏ độ bền và độ dẻo càng cao: hạt nhỏ có tổng diện tích biên hạt lớn hơn, sẽ cản trượt mạnh hơn nên làm tăng độ bền. Theo Hall - Petch: $\sigma_{ch} = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$,

Khi hạt nhỏ đi \rightarrow tăng độ dai \rightarrow vật liệu khó bị phá hủy giòn \rightarrow rất ưu việt

b. Tổ chức và tính chất của kim loại sau khi biến dạng dẻo

1) Sau khi biến dạng \rightarrow xô lệch mạng t/thể.



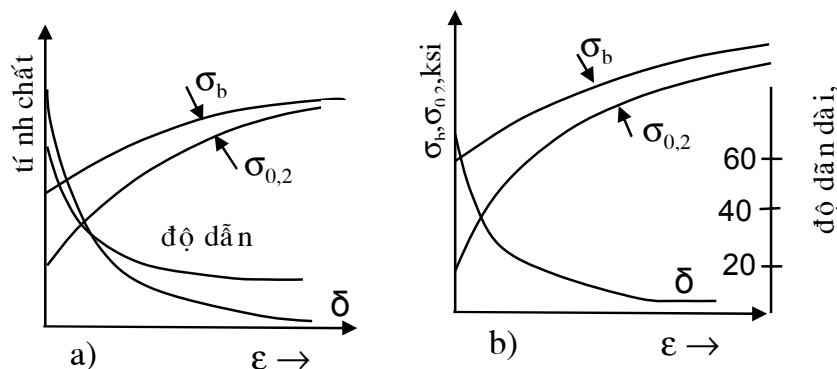
Hình 2.7. Sự thay đổi tổ chức sau biến dạng

Textua biến dạng. Ví dụ khi cán: Al mạng A1: - các mặt {110} song song với mặt cán

2) Biến dạng dẻo \rightarrow do xô lệch mạng \rightarrow ứng suất dư, \rightarrow cho cơ tính \uparrow , ứng suất nén dư bề mặt làm \uparrow giới hạn mỏi: lăn ép, phun bi.

3) Xu hướng thay đổi cơ tính sau khi biến dạng dẻo (hình 2.8):

- . Bền ($\sigma_{dh}, \sigma_{0,2}$), cứng \uparrow , dẻo \downarrow
- . Dẫn điện và tính chống ăn mòn giảm



Hình 2.8. Ảnh hưởng của độ biến dạng đến cơ tính của kim loại nói chung (a) và Cu nói riêng (b).

2.1.4. Phá hủy

Ứng suất > $[\sigma_b]$ → phá hủy do gãy, vỡ hoặc đứt (fractography).

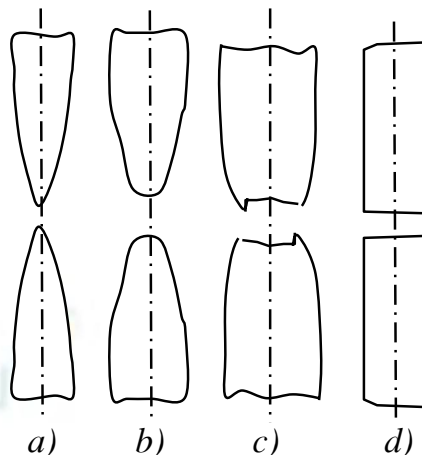
Đầu tiên xuất hiện vết nứt tế vi trên bề mặt hay ở sâu bên trong → phát triển vết nứt → phá hủy

Tùy theo tải trọng:

a. Tải trọng tĩnh

Tải trọng tĩnh: Phá hủy giòn và phá hủy dẻo

- Phá hủy dẻo kèm theo biến dạng dẻo
 - Phá hủy giòn không kèm theo biến dạng
 - Phá hủy giòn xảy ra đột ngột (d), phá hủy dẻo xảy ra từ từ (a) chậm (b), nhanh (c)
 - Công cho phá hủy dẻo lớn hơn
 - Phá hủy dẻo hay giòn do:
- + bản chất VL: thép, Al, Cu → phá hủy dẻo, gang → giòn.



Hi nh 2.9. Các dạng mặt gãy khi phá hủy

ceramic, polyme nhiệt rắn → phá hủy giòn

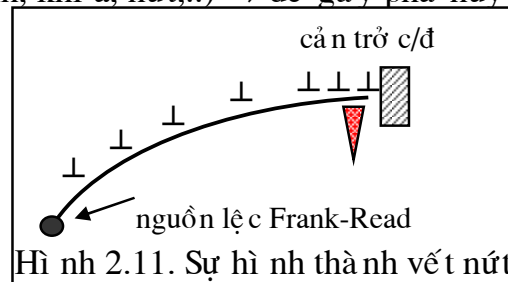
+ $T^o \downarrow$ → phá hủy giòn, tải trọng đặt và o nhanh, đột ngột → phá hủy giòn

-+ Kết cấu gây tập trung ứng suất (hạ bậc đột ngột, rãnh, khí a, nứt,..) → dễ gây phá hủy giòn

Cơ chế phá hủy

Phá hủy theo 4 giai đoạn sau:

- 1) hình thành vết nứt (tế vi),
- 2) vết nứt tế vi phát triển dưới tới hạn, tới hạn
- 3) vết nứt tới hạn phát triển nhanh,
- 4) nứt chấm dứt và gãy rời,



Hi nh 2.11. Sự hình thành vết nứt

trong đó các giai đoạn 1,2 và 3 được coi là quan trọng nhất, đáng để ý nhất.

Tập trung ứng suất

Theo A.A Griffith: σ_{max} :

$$\sigma_{max} = 2\sigma \sqrt{\frac{a}{\rho_t}} \quad (2.1)$$

Gọi $K_I = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}$ là hệ số cường độ ứng suất,

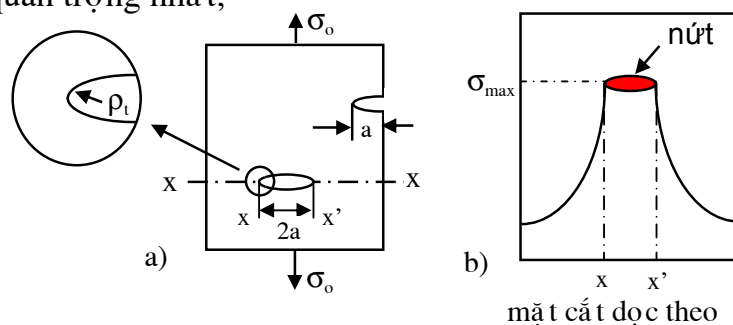
xác định bằng công thức:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (2.2)$$

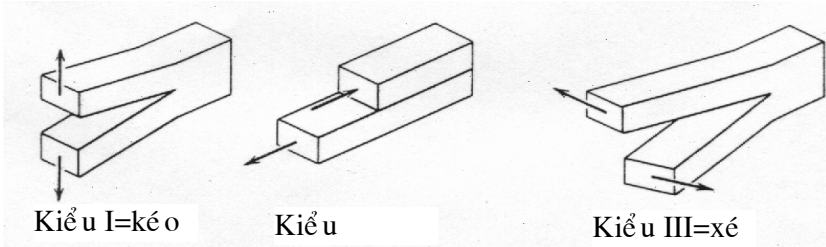
Đối với vật liệu giòn, ứng suất tới hạn σ_{gh} cần thiết để phát triển vết nứt là:

$$\sigma_{gh} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi a}} \quad (2.3)$$

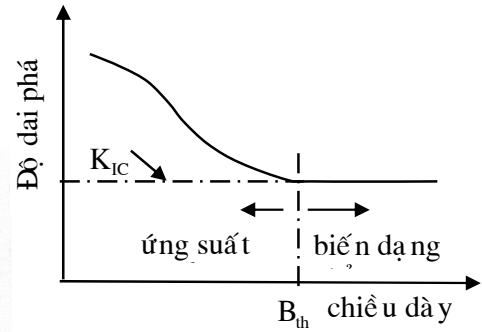
3 kiểu phát triển vết nứt thường gặp (hình 2.13):



Hi nh 2.12. Sơ đồ vết rỗng (a) và sự phân bố ứng suất trên tiết diện cắt ngang qua vết rỗng



Hình 2.13. Ba kiểu tải trọng và lan chuyển vết nứt:



Hình 2.14. Ảnh hưởng của chiều dày

Kiểu I là kiểu thường gặp hơn cả và được đưa vào tính toán.

Do tập trung ứng suất $\sigma \geq \sigma_{gh}$ (công thức 2.3) \rightarrow vết nứt \uparrow gây phá hủy giòn vật liệu. Giá trị hệ số cường độ ứng suất tương ứng tại đó được gọi là độ dai phá hủy của vật liệu, ký hiệu là K_{IC} , đặc trưng cho mỗi loại vật liệu

$$K_{IC} = Y\sigma_{gh}\sqrt{\pi a}, [N.m^{-3/2}] \text{ hay } [MPa.m^{1/2}], \text{ xác định bằng thực nghiệm}$$

Đối với vật liệu dẻo (phần lớn kim loại và vật liệu polyme), đều có biến dạng dẻo trước khi phá hủy, điều đó làm cho đỉnh vết nứt (cùn, bớt sắc nhọn) đi, bán kính cong tăng lên, nhờ đó làm tăng σ_{gh} và K_{IC} .

Bảng 2.1. Giới hạn chảy và độ dai phá hủy biến dạng phẳng của một số loại vật liệu

Vật liệu	$\sigma_{0,2}, MPa$	$K_{IC}, MPa\sqrt{m}$	Vật liệu	$\sigma_{0,2}, MPa$	$K_{IC}, MPa\sqrt{m}$
Kim loại			Ceramic và polyme		
Hợp kim nhôm 2024-T351	325	36	oxit nhôm	-	3-5,3
Hợp kim nhôm 7075-T651	505	29	Thủy tinh	-	0,7-0,8
			Bê tông	-	0,2-1,4
Thép 4340, tôi +ram	1640	50	Polyme ,PMMA	-	1,0
260°C Thép 4340, tôi +ram 425°C	1420	87,4	Polystyren, PS	-	0,8-1,1

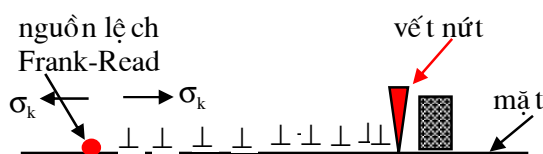
b. Trong điều kiện tải trọng thay đổi theo chu kỳ

Cầu, trục, bánh răng,.. chịu tải trọng không lớn ($\ll \sigma_{0,2}$) nhưng thay đổi theo chu kỳ, vẫn có thể bị phá hủy sau thời gian dài và tương đối dài ($> 10^5 \div 10^6$ chu kỳ) \rightarrow phá hủy mỏi.

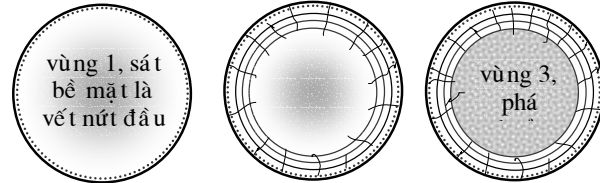
Cơ chế: từ vết nứt đầu tiên, thường nằm ở trên bề mặt là nơi chịu ứng suất kéo lớn nhất, điều kiện thuận lợi \rightarrow phát triển vết nứt.

Vết nứt tế vi trên bề mặt: rỗ co, bọt khí, tạp chất, xước, lõm \rightarrow tăng độ bóng bề mặt

Vết nứt có thể sinh ra dưới tác dụng của tải trọng thay đổi theo chu kỳ (hình 2.15a).



Hình 2.15a. Sơ đồ hình thành vết nứt mỏi



Hình 2.15b. Sơ đồ mặt gãy khi phá hủy mỏi

Mặt gãy ở chỗ phá hủy mỏi (hình 2.15b).

2.2. Các đặc trưng cơ tính thông thường và ý nghĩa

Cơ tính cho biết khả năng chịu tải của vật liệu trong các điều kiện tương ứng, là cơ sở của các tính toán sức bền, khả năng sử dụng vào một mục đích nhất định. Các đặc trưng cơ tính được xác định trên các mẫu chuẩn.

Thường gặp nhất là độ bền, độ dẻo, độ cứng, độ dai va đập, độ dai phá hủy.

2.2.1. Độ bền (tính)

Tùy theo đặc điểm của tải trọng người ta phân biệt độ bền kéo, nén, uốn, xoắn... *Bền và độ dẻo khi kéo là thông dụng hơn cả* nên không cần phải ghi chú, trường hợp còn lại đều phải ghi chú (nén, uốn hay xoắn...).

a. Các chỉ tiêu

Đặc trưng cho độ bền tính: σ_{dh} , σ_C , σ_b : kG/mm^2 , **MPa**, *psi*, *ksi* (Anh & Hoa kỳ). Quan hệ giữa các đơn vị thường gặp như sau:

$1kG/mm^2 \approx 10MPa$, $1kG/mm^2 \approx 1,45 ksi$, $1ksi = 10^3 psi$

Giới hạn đàn hồi σ_{dh} , khó xác định \rightarrow chấp nhận $\sigma_{0,01}$ hay $\sigma_{0,05}$ theo công thức:

$$\sigma_{dh} = \frac{F_{dh}}{S_0} MPa, \quad \rightarrow \quad \sigma_{0,01} = \frac{F_{0,01}}{S_0} MPa, \quad \text{hay} \quad \sigma_{0,05} = \frac{F_{0,05}}{S_0} MPa,$$

Giới hạn chảy vật lý σ_{ch}

Giới hạn chảy quy ước $\sigma_{0,2}$, [MPa]

Giới hạn bền σ_b : $\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$, [MPa], trong đó:

b. Các yếu tố ảnh hưởng

Các phương pháp nâng cao độ bền:

giảm hoặc tăng mật độ lệch.

. Giảm: Sợi Fe là 13000MPa, Fe armco 250MPa

. Tăng: biến dạng nguội, hợp kim hoá, nhiệt luyện,...

c. Các biện pháp hóa bền vật liệu

Biến dạng dẻo: \rightarrow tăng mật độ lệch \rightarrow tăng độ bền:

dập, gò, uốn, gập, kéo, cán nguội \rightarrow biến cứng, tăng bền

Hợp kim hóa: đưa nguyên tử lạ vào \rightarrow tăng xô lệch mạng và mật độ lệch \rightarrow tăng độ bền,

Tạo các pha cứng phân tán hay hóa bền tiết pha:

Nhiệt luyện tôi + ram: tôi và sau đó là ram - tạo nên sự quá bão hòa \rightarrow tăng độ bền, độ cứng

Hóa - nhiệt luyện: thấm C, N... tăng bền, cứng, chịu mài mòn, nâng cao bền mỏi

Làm - nhỏ hạt: làm hạt nhỏ này duy nhất làm tăng tất cả các chỉ tiêu bền, dẻo, dai.

2.2.2. Độ dẻo

Độ dẻo là khả năng biến dạng của vật liệu dưới tải trọng

a. 2 chỉ tiêu : $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%$, $\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} 100\%$

b. Tính siêu dẻo

Đ/n: Vật liệu có δ tới trên 100% (100 ÷ 1000%), được gọi là *siêu dẻo*,

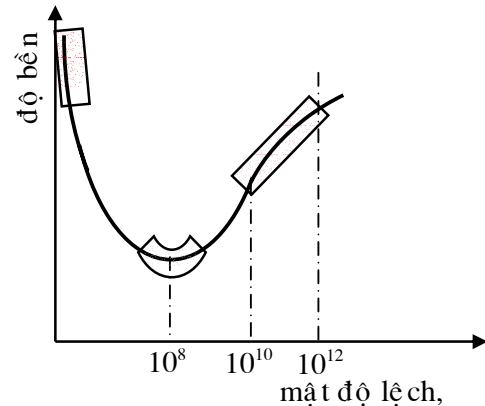
Công dụng: chế tạo các sản phẩm rỗng, dài với tiết diện không đồng đều: chai, lọ, ống,...

Chế tạo: tạo tính siêu dẻo bằng cách:

- tạo tổ chức hạt rất nhỏ, (cỡ hạt khoảng $10\mu m$), đẳng trục, đồng đều và ổn định khi biến dạng, đây là yếu tố quan trọng nhất,

- biến dạng ở nhiệt độ cao, cỡ $(0,6 \div 0,85) T_C^\circ$,

- tốc độ biến dạng rất chậm, cỡ $10^{-4} \div 10^{-3} s^{-1}$ (tức 0,01 ÷ 0,1%/s).

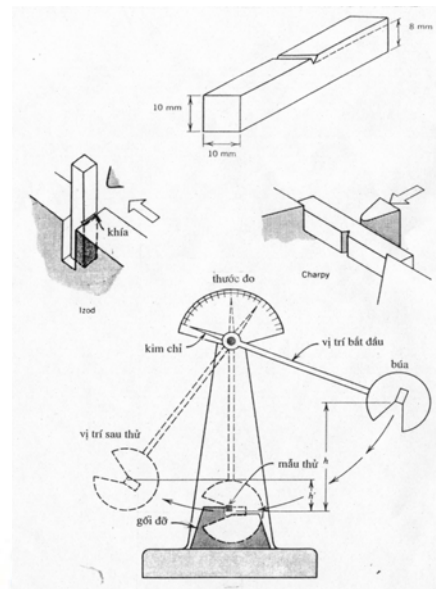
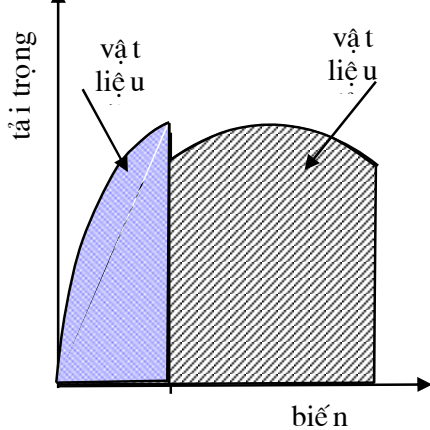


Hình 2.16. Thay đổi độ bền theo mật độ lệch

Trượt khi siê u dễ o xảy ra chủ yếu theo biên hạt

2.2.3. Độ dai va đập: Hì nh 2.17: công phá huỷ

Sơ đồ thử va đập (hì nh 2.18).



Hì nh 2.17. Công phá huỷ vật liệu

Hì nh 2.18. Sơ đồ thử độ dai va đập

2 loại mẫu thử độ dai va đập: 10x10mm dài 55mm (mẫu Charpy) và 75mm (Izod) với rãnh khí a hì nh chữ U hay chữ V: (để tập trung ứng suất) rộngxsâu (2x2mm). TCVN chỉ quy đị nh thử theo mẫu Charpy và ký hiệu độ dai va đập bằng a_K:

Đị nh nghĩ a: Độ dai va đập là công phá huỷ tí nh cho một đ.v. tiế y diện cắ t ngang mẫu:

Công thức tí nh: $a_K = \frac{A_K}{S}$, [j/cm²] hay [kJ/m²]

trong đó: A_K là công phá huỷ, J; S tiế t diện mẫ u tại chỗ rãnh khí a (0,8cm²)

Đơn vị : [j/cm²], : [kj/m²], : [kgm/cm²]

1kGm/cm² ≈ 10J/cm²; 1kJ/m² ≈ 0,01kGm/cm²; 1kGm/cm² ≈ 100kJ/m²

Phạm vi áp dụng:

Chi tiế t chậ u va đập a_K min = 200kJ/m² (2kGm/cm²), va đập cao phải có a_K ≥ 1000kJ/m². **Biệ n phá p tá ng a_K:**

Nế u coi a_K tỷ lệ với tí ch (σ_{0,2} x δ) → để ↑ a_K t ↑ đồng thời σ_{0,2} & δ do đó:

- Làm cho hạt nhỏ mịn là phương pháp tốt nhất để ↑ a_K.
- Hóa bên bề mặt : tôi bề mặt, hóa - nhiệt luyện → vừa ↑ bền, cứng, tí nh chống mài mòn mà vẫn cho a_K cao, chống va đập tốt.
- Tạo hạt tròn, đa cạ nh có độ dai cao hơn khi hạt có dạng tấm, hì nh kim.
- Giảm số lượng, kí ch thước, tạ o hạt càng tròn, phân bố đều của các pha rắn → ↑ a_K.

2.2.4. Độ dai phá huỷ biến dạng phẳng (plane - strain fracture toughness), K_{IC}

Mẫ u thử: hì nh 2.19 là dạng mẫu đơn giản nhất, vết nứt mỗi:

- phải cùng chiều với rãnh khí a và chạy dài trên suốt chiều dà y của mẫu B = W/2,
- trên cả hai bề mặt ngoài, cả 2 bên vết nứt mỗi phải ấ n sâ u và o í t nhất là 1,3
- chiều dài a (bằ ng rãnh ban đầu + nứt mỗi) phải ~ B hay 0,45÷0,55W.

Quy trì nh thử:

- đặt ngà m trực và o hai lỗ, tá c dụng lực ké o để rãnh khí a và nứt mỗi được mở rộng ra (nứt phá t triển theo kiế u I).
- Xâ y dựng biế u đồ tá i trọng ké o - độ mở của rãnh v như hì nh 2.20.