

Chương 2: Biến dạng dẻo và cơ tính

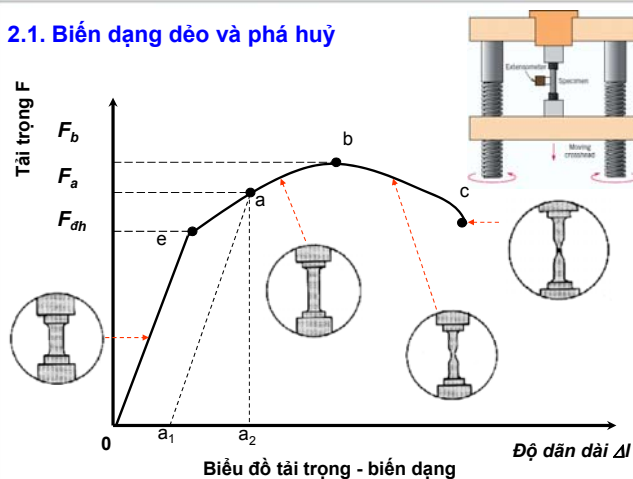
2.1. Biến dạng dẻo và phá hủy



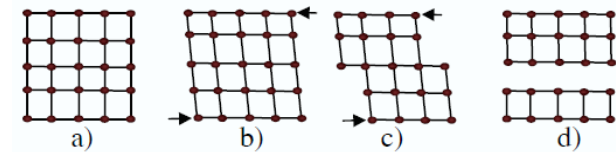
Thử kéo mẫu thép (Movie)



2.1. Biến dạng dẻo và phá hủy



2.1.1. Khái niệm về biến dạng dẻo



a) Ban đầu: các nguyên tử dao động xung quanh vị trí cân bằng.

b) **Biến dạng đàn hồi**: các nguyên tử xê dịch phạm vi hẹp so với thông số mạng, có thể trở về vị trí ban đầu khi bỏ tải trọng.

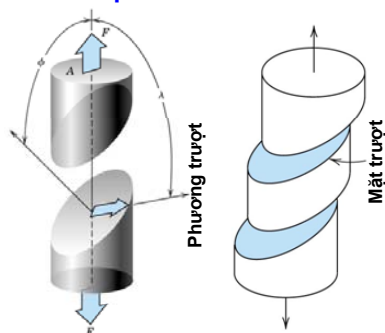
c) **Biến dạng dẻo**: các nguyên tử xê dịch phạm vi lớn hơn một thông số mạng (trượt), không trở về vị trí ban đầu khi bỏ tải trọng.

d) **Phá hủy**: liên kết giữa các nguyên tử bị cắt rời

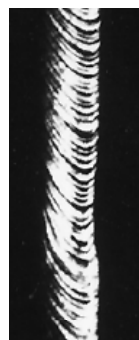
K/n: Biến dạng dẻo là biến dạng dư không bị mất đi sau khi bỏ tải trọng tác dụng.

Ứng suất tiếp gây ra biến dạng dẻo (trượt), ứng suất pháp không gây ra biến dạng dẻo.

2.1.2. Trượt đơn tinh thể



Hiện tượng trượt trong đơn tinh thể



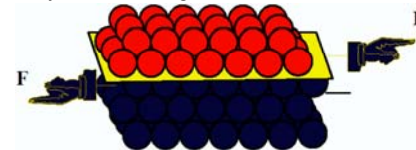
Trượt trong đơn tinh thể Zn

Đ/n: Trượt là hiện tượng chuyển dời tương đối giữa các phần tinh thể theo các phương và mặt nhất định gọi là **phương trượt** và **mặt trượt**

a) Các mặt và phương trượt

Mặt trượt: mặt (tường tượng) phân cách giữa hai mặt nguyên tử dày đặc nhất mà tại đó xảy ra hiện tượng trượt

Mặt dày đặc nhất?



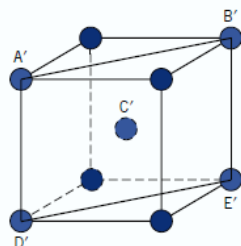
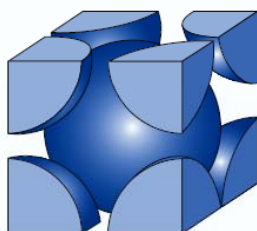
- liên kết giữa các nt bền vững nhất
- khoảng cách giữa 2 mặt là lớn nhất

Phương trượt: phương có mật độ nguyên tử lớn nhất

Hệ trượt: Là sự kết hợp giữa một phương trượt và một mặt trượt



Hệ trượt trong mạng A2

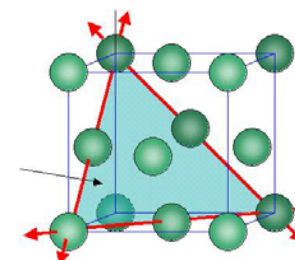
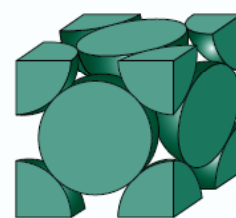


Họ mặt trượt $\{110\}$: **6 mặt trượt**

Họ phương trượt $\langle 111 \rangle$: **2 phương trượt**

→ Số hệ trượt = số mặt x số phương = **12 hệ trượt**

Hệ trượt trong mạng A1

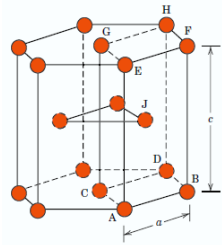


Họ mặt trượt: $\{111\}$ Số lượng: **4 mặt trượt**

Họ phương trượt $\langle 110 \rangle$: **3 phương trượt**

→ Số hệ trượt = số mặt x số phương = **12 hệ trượt**

Hệ trượt trong mạng A3

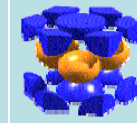
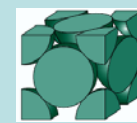


Mặt xếp chặt nhất: (0001) Số lượng: 1 mặt trượt

Họ phương xếp chặt nhất $\langle 11\bar{2}0 \rangle$: 3 phương trượt

→ Số hệ trượt = số mặt x số phương = 6 hệ trượt

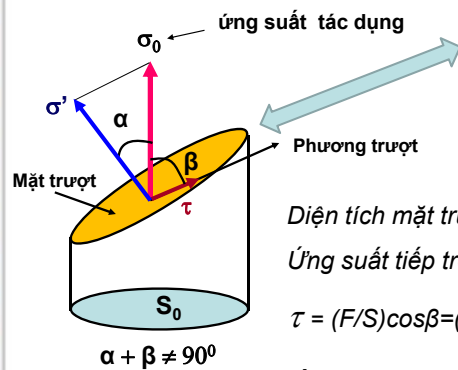
Kiểu mạng



Số mặt trượt	6	4	1
Số phương trượt	2	3	3
Số hệ trượt	12	12	3
Kim loại	Fe _α , Cr, W, V	Fe _γ , Al, Cu, Au	Ti _α , Zn, Mg, Be

b) Ứng suất gây ra trượt

Định luật Schmid



Diện tích mặt trượt: $S = S_0 / \cos \alpha$

Ứng suất tiếp trên phương trượt:

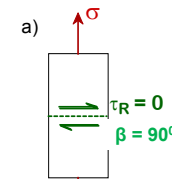
$$\tau = (F/S) \cos \beta = (F/S_0) \cos \alpha \cos \beta$$

$$\Rightarrow \tau = \sigma_0 \cos \alpha \cos \beta$$

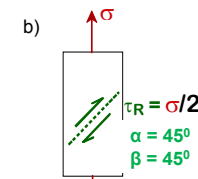
b) Ứng suất gây ra trượt

Định luật Schmid

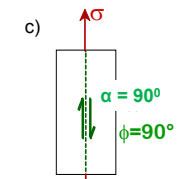
$$\tau = \sigma_0 \cos \alpha \cos \beta \geq \tau_{th}$$



Không xảy ra trượt



Dễ xảy ra trượt



Không xảy ra trượt

c) Tính dễ trượt

Lý thuyết: $\tau_{th} \sim G/2\pi$

Thực tế: $\tau_{th} \sim G/(8 \cdot 10^3 \div 8 \cdot 10^4)$

c) Tính dễ trượt

Chuyển động lệch trong đơn tinh thể

Lệch trong đơn tinh thể LiF (x750) Chuyển động lệch (Movie)

2.1.3. Trượt trong đa tinh thể

a) Đặc điểm

- Các hạt bị biến dạng không đều
- Có tính đẳng hướng
- Có độ bền cao hơn
- Hạt càng nhỏ thì độ bền và độ dẻo càng cao

$$\sigma_c = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

b) Tổ chức và tính chất sau biến dạng dẻo

Tổ chức

→ Các hạt có xu hướng dài ra theo phương biến dạng

$\epsilon = 40-50\%$ → các hạt sẽ bị phân nhỏ và kéo dài tạo thớ

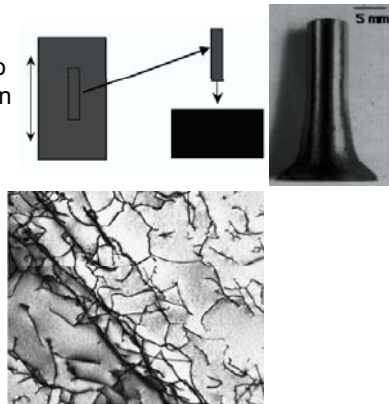
$\epsilon = 70-90\%$ → các hạt bị quay, các phương mạng cùng chỉ số song song → tổ chức texture biến dạng

Biến dạng hạt tinh thể (Movie)

b) Tổ chức và tính chất sau biến dạng dẻo

Tính chất

→ Hạt tinh thể bị kéo dài theo phương biến dạng : tính dị hướng

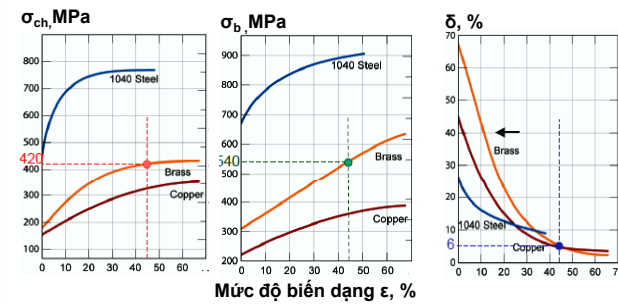


→ Ứng suất dư lớn do xô lệch mạng tinh thể (tăng mật độ lệch)

b) Tổ chức và tính chất sau biến dạng dẻo

Tính chất

Cơ tính thay đổi: độ cứng, độ bền tăng, độ dẻo và độ dai giảm.
Điện trở tăng, khả năng chống ăn mòn giảm



2.1.4. Phá hủy

Khi ứng suất $\sigma > [\sigma_b]$ → phá hủy do đứt, gãy, vỡ...

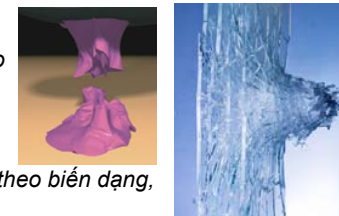


→ Là dạng hư hỏng trầm trọng nhất, không thể khắc phục được → thiệt hại về kinh tế, con người..... → cần phải có biện pháp khắc phục

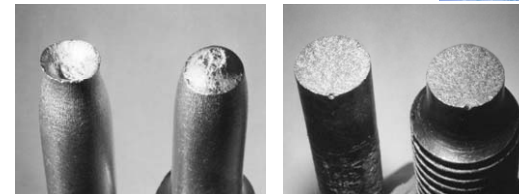
Đặc điểm chung: hình thành các vết nứt tế vi → phát triển vết nứt → tách rời → phá hủy

a) Phá hủy trong điều kiện tải trọng tĩnh

Phá hủy dẻo: kèm theo biến dạng dẻo đáng kể.



Phá hủy giòn: không kèm theo biến dạng, gồm nhiều mảnh vỡ.



Phá hủy dẻo

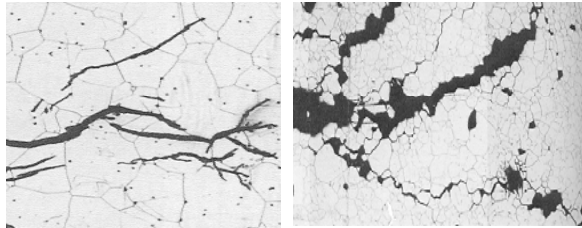
Phá hủy giòn

a) Phá hủy trong điều kiện tải trọng tĩnh (tiếp theo):

Phá hủy dẻo phát triển với tốc độ chậm, cần nhiều năng lượng
→ công phá hủy lớn

Phá hủy giòn phát triển với tốc độ rất nhanh (1000 m/s), cần năng lượng nhỏ → công phá hủy nhỏ hơn

Chú ý: vết phá hủy có thể cắt ngang các hạt hay theo biên giới giữa các hạt.



a) Phá hủy trong điều kiện tải trọng tĩnh (tiếp theo):

Phá hủy dẻo hay giòn là do:

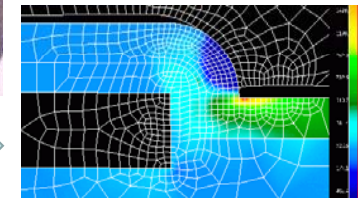
+ **Bản chất VL** : thép, Al, Cu - phá hủy dẻo; gang, ceramic → phá hủy giòn;



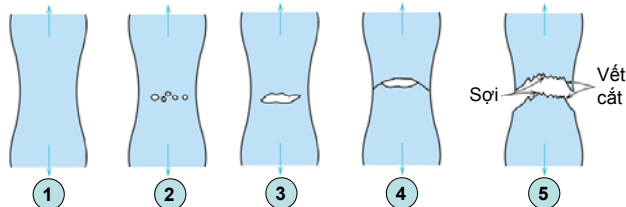
+ **Nhiệt độ thấp**, tốc độ đặt tải nhanh → VL dẻo bị phá hủy giòn



+ **Kết cấu gây tập trung ứng suất** → VL dẻo bị phá hủy giòn



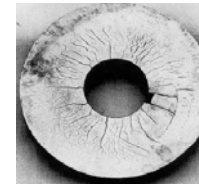
Cơ chế phá hủy dẻo



1. Hình thành cổ thắt (biến dạng dẻo cục bộ)
2. Xuất hiện vết nứt tế vi
3. Các vết nứt tế vi tích tụ, phát triển đến kích thước tới hạn
4. Vết nứt trên tới hạn phát triển nhanh
5. Phá hủy vật liệu : vết cắt (45°) gần bề mặt nơi ứng suất trượt lớn nhất, tổ chức sợi bên trong lõi do biến dạng dẻo

Vết nứt tế vi – Mầm phá hủy VL

- Vết nứt khi kết tinh, nguội nhanh;
- Các rỗ khí, bọt khí trong vật đúc
- Từ các pha độ bền thấp trong vật liệu (graphit trong gang)
- Sinh ra trong quá trình biến dạng do có tập hợp nhiều lệch cùng dấu chuyển động trên cùng một mặt trượt và gặp vật cản (pha thứ hai)



Cắt gang xám
(Movie)

b) Phá huỷ trong điều kiện tải trọng chu kỳ

Đặc điểm: vật liệu chịu tải trọng không lớn ($\ll \sigma_{0,2}$), thay đổi theo chu kỳ $\rightarrow$ có thể bị phá huỷ sau một thời gian tương đối dài ($10^5 - 10^6$ chu kỳ).

Thường gặp ở các chi tiết : cầu, trục, bánh răng, nhíp, lò xo,...

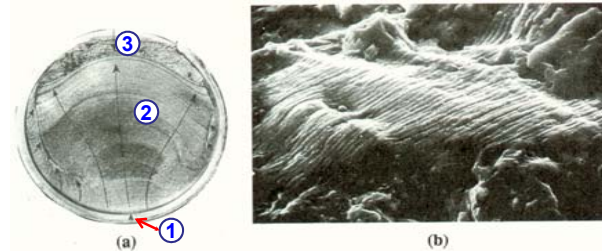
Cơ chế : Từ vết nứt đầu tiên trên bề mặt (ứng suất kéo lớn nhất), phát triển vết nứt gây phá huỷ. Vết nứt sẵn có trong quá trình chế tạo, lỗm co, vết xước... $\rightarrow$ tăng độ bóng bề mặt, tạo us nén dư trên b/m.



Phát triển vết nứt mỏi (Movie)

b) Phá huỷ trong điều kiện tải trọng chu kỳ

Mặt gãy khi phá huỷ mỏi



- 1- vùng nứt đầu tiên sát bề mặt(mảnh)
- 2 - vùng nứt phát triển chậm, nhẵn phẳng, có dải phân cách
- 3 - vùng gãy tức thời có tiết diện nhỏ nên ứng suất lớn.

2.2 Các đặc trưng cơ tính

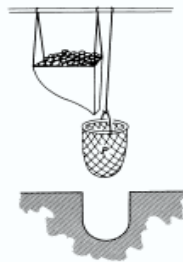
Cơ tính : các đặc trưng cơ học cho biết khả năng chịu tải của vật liệu trong các điều kiện tương ứng,

+ cơ sở của các tính toán sức bền, khả năng sử dụng vào một mục đích nhất .

+ được xác định trên các mẫu chuẩn nhỏ.

- Mẫu thử lớn thường có cơ tính thấp hơn.

- Các chỉ tiêu cơ tính thông dụng :
độ bền, độ dẻo, độ cứng, độ dai
va đập, độ dai phá huỷ.



a) Độ bền tĩnh (σ)

Tập hợp các chỉ tiêu về sức chịu đựng tải trọng tĩnh của vật liệu



a) Độ bền tĩnh (σ)

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (MPa)}$$

Giới hạn đàn hồi (σ_{dh}):

→ là ứng suất lớn nhất, sau khi bỏ tải, không làm mẫu bị thay đổi hình dạng, kích thước.

$$\sigma_{dh} = \frac{F_{dh}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

F_{dh} : lực kéo lớn nhất không gây biến dạng mẫu sau khi bỏ tải (N)
 S_0 : tiết diện mẫu thử (mm²)

Giới hạn đàn hồi quy ước ($\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,05}$): $\sigma_{0,01} = \frac{F_{0,01}}{S_0} \text{ (MPa)}$ **Giới hạn chảy vật lý (σ_{ch}):**

→ là ứng suất bé nhất gây biến dạng dẻo

Giới hạn chảy quy ước ($\sigma_{0,2}$):

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

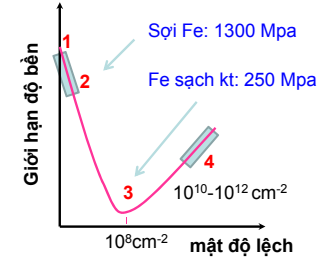
$F_{0,2}$: lực kéo tạo ra biến dạng dư 0,2% (N)
 S_0 : tiết diện mẫu thử (mm²)

Giới hạn bền (σ_b):

→ là ứng suất lớn nhất tác dụng lên mẫu gây ra biến dạng cục bộ (hình thành cổ thắt) dẫn đến phá hủy

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ (MPa)}$$

F_b : lực kéo lớn nhất trên giản đồ thử kéo (N)
 S_0 : tiết diện mẫu thử (mm²)

Yếu tố ảnh hưởng đến độ bền: mật độ lệch

1. Độ bền theo lý thuyết
2. Độ bền của đơn tinh thể
3. Các kim loại nguyên chất sau ủ
4. Kim loại sau biến dạng, hoá bền.....

Các biện pháp hoá bền vật liệu

Biến dạng dẻo: tăng mật độ lệch → biến cứng, tăng bền;

Hợp kim hoá: tăng xô lệch mạng, mật độ lệch → tăng bền;

Tạo ra các pha cứng phân tán: tạo các chướng ngại cản trở chuyển động của lệch → tăng độ bền, độ cứng;

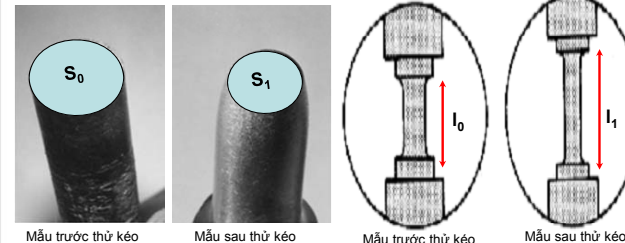
Nhiệt luyện tôi+ram: tạo độ quá bão hoà → tăng độ bền, độ cứng;

Hóa nhiệt luyện (thấm N, C): tăng độ bền, độ cứng bề mặt, chịu mài mòn, chịu môi;

Làm nhỏ hạt: → tăng tất cả các chỉ tiêu bền, dẻo, dai.

b) Độ dẻo ($\delta\%$, $\psi\%$)

K/n: Là tập hợp các chỉ tiêu cơ tính phản ánh độ biến dạng dư của VL bị phá huỷ dưới tải trọng tĩnh



Mẫu trước thử kéo

Mẫu sau thử kéo

Mẫu trước thử kéo

Mẫu sau thử kéo

Các chỉ tiêu: Độ giãn dài tương đối & độ co thắt tương đối

$$\delta\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad \psi\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100\%$$

Tính siêu dẻo

Nếu % đạt từ 100-1000% → Vật liệu được gọi là siêu dẻo



Thép siêu dẻo làm vỏ xe



Hộp kim
Tí siêu
đàn hồi



- Ưu điểm:**
- Tiết kiệm được năng lượng;
 - Dễ chế tạo các sản phẩm rỗng, dài, tiết diện không đều, phức tạp...

Biện pháp đạt hiệu ứng siêu dẻo:

- Làm cho hạt nhỏ mịn, đẳng trục, đồng đều và ổn định
- Biến dạng ở nhiệt độ cao $(0,6-0,8)T_s$
- Tốc độ biến dạng rất nhỏ cỡ $10^{-3}-10^{-4}s^{-1}$

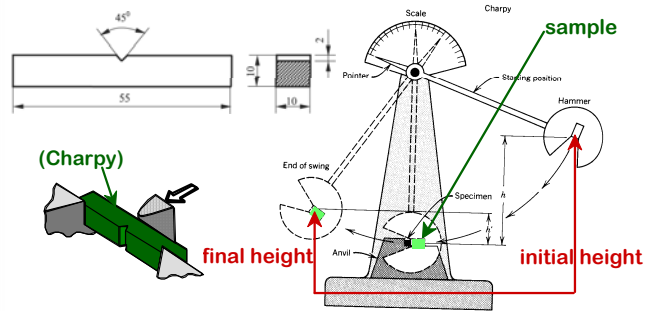
c) Độ dai va đập (a_k)

Khái niệm: Khả năng chống phá hủy của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng động



c) Độ dai va đập (a_k)

Công phá hủy tính cho một đơn vị diện tích cắt ngang mẫu



$$a_k = \frac{A_k}{S} \text{ Nm/cm}^2, \text{ kJ/m}^2 \text{ và kGm/cm}^2$$

Phạm vi áp dụng:

Chi tiết chịu va đập: $a_k > 200 \text{ kJ/m}^2$

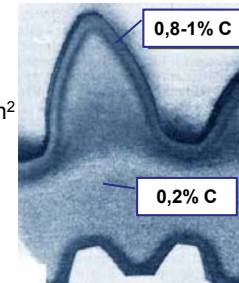
Chi tiết chịu va đập cao: $a_k > 1000 \text{ kJ/m}^2$

Mối tương quan giữa a_k và $(\sigma_{0,2} \times \delta)$

$$a_k \approx \sigma_{ch}(\sigma_{0,2}) \times \delta$$

Các biện pháp nâng cao a_k

- Tạo cấu trúc hạt nhỏ mịn: tăng bền, dẻo → tăng độ dai;
- Hóa bền bề mặt tăng bền, cứng, không làm giảm độ dẻo → tăng độ dai;
- Hình dạng hạt tròn, đa cạnh có độ dai cao hơn hạt có dạng tấm, kim.



d) Độ cứng

Khái niệm: khả năng vật liệu chống lại biến dạng dẻo cục bộ dưới tác dụng của tải trọng thông qua mũi đâm.

Đặc điểm:

- Chỉ biểu thị cho tính chất bề mặt (vật liệu không đồng nhất);
- Khả năng chống mài mòn của vật liệu;
- Khi vật liệu đồng nhất (phôi ủ): biểu thị độ bền và khả năng gia công cắt của vật liệu;
- Sử dụng mẫu nhỏ, đơn giản, nhanh chóng, không phá hủy, có thể đo trực tiếp trên chi tiết → phù hợp với điều kiện sản xuất.



Nguyên lý xác định độ cứng:

Ép tải trọng xác định lên mẫu thông qua mũi đâm bằng vật liệu cứng tạo vết lõm trên bề mặt; vết lõm càng rộng (sâu) độ cứng càng thấp.

Phân loại:

- Độ cứng tế vi (dùng tải trọng nhỏ, mũi đâm bé): xác định độ cứng của các hạt, pha trong tổ chức của vật liệu;
- Độ cứng thô đại (tải trọng và mũi đâm lớn): phản ánh khả năng chống biến dạng dẻo của nhiều hạt, pha → xác định độ cứng chung cho VL;
- Kí hiệu bắt đầu : **H** (hardness)



Độ cứng Brinell (HB)

Mũi đâm: Bì thép đã tôi cứng, đường kính D

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D \left[D - (D^2 - d^2)^{1/2} \right]} \text{ kG/mm}^2$$

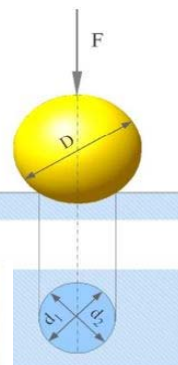
Thép và gang: D=10mm, F=3000kG, t=15s

Ưu điểm: quan hệ bậc nhất với σ_b

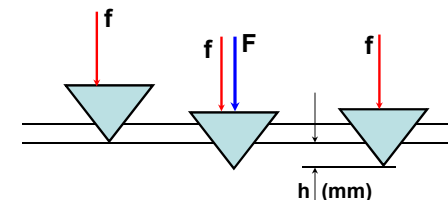
$$\sigma_b = a \cdot HB \quad (a = 0,3 \div 0,5)$$

Nhược điểm:

- Chỉ đo được cho các VL mềm, mẫu phải phẳng, to, dày, vết lõm to;
- Không cho phép đo trên các loại trục, thời gian đo lâu.



Độ cứng Rockwell HR (HRA, HRB, HRC)



f: tải trọng sơ bộ 10kg

F: tải trọng chính (90kg cho thang B, 140kg cho thang đo C và 50kg cho thang đo A)

$$HR = k - (h/0,002)$$

k = 100, thang đo A, C, mũi đâm: nòn kim cương, góc đỉnh 120°

k = 130, thang đo B dùng cho mũi đâm = bì thép, D = 1,588

Chú ý: HR là loại độ cứng quy ước, không có thứ nguyên

Phạm vi áp dụng:

- HRC đo thép sau khi tôi, tôi + ram, thấm cacbon;
- HRA đo lớp thấm mỏng: thấm nitơ, cacbon-nitơ;
- HRB đo vật liệu mềm hơn: thép ủ, thường hóa, gang đúc.

Ưu điểm:

- Đo được các vật liệu từ tương đối mềm đến cứng;
- Vết lõm khá nhỏ, có thể đo các vật mỏng, lớp hóa bền và ngay trên thành phẩm và trên mặt trục;
- Đo nhanh, tiện lợi phù hợp với điều kiện sản xuất.

**Độ cứng Vickers HV**

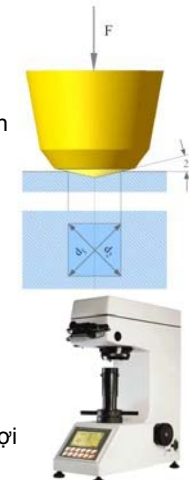
Mũi đâm kim cương, hình tháp 4 mặt đều với góc ở giữa hai mặt đối diện 136° ;
Tải trọng tác dụng nhỏ (1-100kg), điều kiện chuẩn 30kg với $t = 10-15s$.

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{1,854F}{d^2} \text{ kg/mm}^2$$

Ưu điểm:

- Kết quả đo không phụ thuộc tải trọng;
- Xác định được độ cứng cho mọi loại vật liệu, mẫu mỏng;
- Độ cứng chuẩn trong NCKH.

Nhược điểm: thiết bị đắt tiền, không tiện lợi bằng phương pháp đo Rockwell.

**Chuyển đổi giữa các thang đo độ cứng**

Độ cứng	HV	HB	HRC	HRA	HRB
Thấp	240	240	20	60,5	100
Tối đa	513	475	50	75,9	-
Cao	697	-	60	81,2	-

Các mức độ cứng của thép

- Mềm: HB < 150
- Trung bình: HB ~ 300-400
- Cao HRC ~ 60-65
- Thấp: HB ~ 200
- Tương đối cao: HRC ~ 50-58
- Rất cao HRC > 65

2.3. Nung kim loại đã qua biến dạng dẻo**2.3.1. Trạng thái kim loại sau biến dạng dẻo**

Mức độ xô lệch trong mạng tinh thể lớn, mật độ lệch cao, kim loại bị hoá bền, biến cứng (trạng thái không cân bằng) → có xu hướng chuyển về trạng thái năng lượng thấp hơn - trạng thái trước biến dạng dẻo.

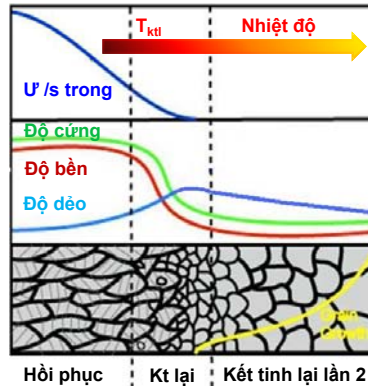
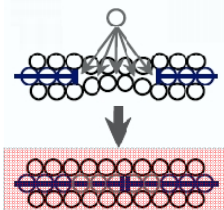
**Tại sao cần phải nung kim loại đã qua biến dạng dẻo?**

- Để có thể tiếp tục biến dạng dẻo (kéo sợi);
- Để có thể gia công cắt được dễ dàng;
- Khử bỏ ứng suất bên trong để tránh phá hủy giòn.

2.3.2. Các giai đoạn chuyển biến khi nung nóng

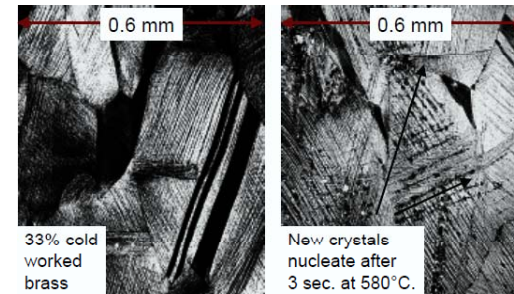
a) hồi phục: nung ở nhiệt độ thấp ($0,1 \div 0,2 T_{nc}$)

- Giảm sai lệch mạng;
- Giảm mật độ lệch;
- Giảm ứng suất, điện trở;
- Tổ chức tế vi chưa biến đổi
→ cơ tính hầu như chưa thay đổi.



b) kết tinh lại: nung ở nhiệt độ xác định $T \geq T_{ktl}$

Quá trình hình thành các hạt mới theo cơ chế tạo mầm và phát triển mầm như kết tinh.



- Xuất hiện các mầm mới không chứa sai lệch do biến dạng, thường tại các vùng bị xô lệch mạnh nhất (mặt trượt, biên hạt);
- Biến dạng dẻo mạnh, số lượng tâm mầm nhiều, hạt nhỏ mịn.

Sau kết tinh lại kim loại có tổ chức hạt đa cạnh, đẳng trục

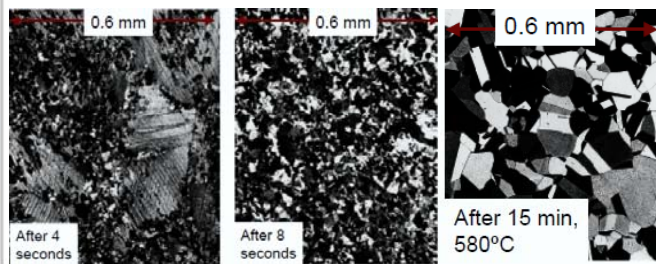
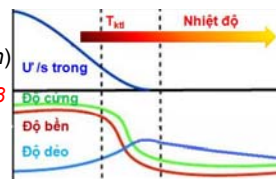
Kích thước hạt phụ thuộc: $\epsilon\%$, T_{ktl} , τ_{ktl} .

Độ dẻo tăng, bền, cứng giảm (*thải bền*)

$T_{ktl} = a \cdot T_{nc} (^{\circ}K)$, $a = 0,2-0,3; 0,4; 0,5-0,8$

Fe - $450^{\circ}C$, Cu - $270^{\circ}C$, Al - $100^{\circ}C$,

Pb, Zn, Sn < $25^{\circ}C$.



c) kết tinh lại lần 2: nung ở nhiệt độ cao $T \geq T_{ktl2}$

Nhiệt độ cao, thời gian giữ nhiệt dài → quá trình sát nhập của các hạt theo cơ chế hạt lớn "nuốt" hạt bé;

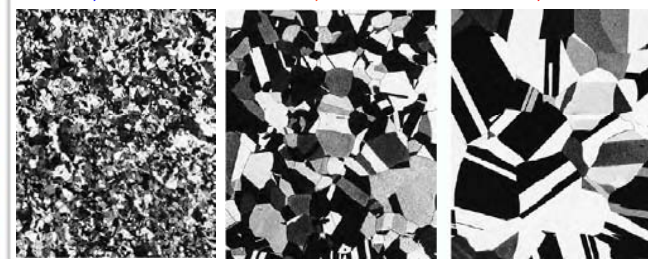
Sự phát triển hạt là quá trình tự nhiên vì làm giảm tổng biên giới hạt do đó làm giảm tổng năng lượng dự trữ;

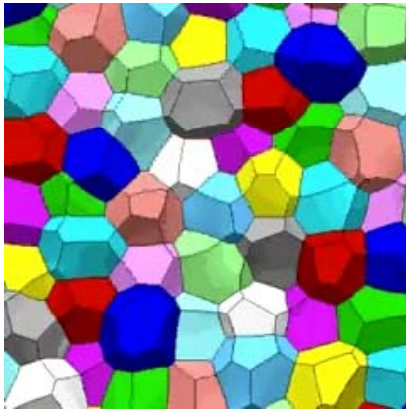
Kết tinh lại lần 2 làm xấu cơ tính nên phải tránh.

8s, $580^{\circ}C$

15m, $580^{\circ}C$

10m, $700^{\circ}C$





Kết tinh lại lần 2 (movie)

2.3.3. Biến dạng nóng

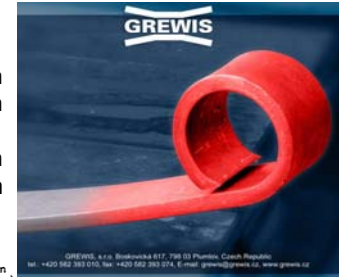
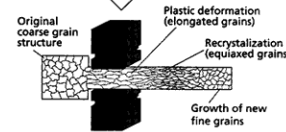
Biến dạng dẻo ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ kết tinh lại

$(W - T_{ktl} = 1200\text{ }^{\circ}\text{C} \leftrightarrow \text{Sn, Zn, Pb} - T_{ktl} < 25^{\circ}\text{C})$

$T \sim (0,7-0,75)T_{nc}$

Các quá trình xảy ra:

- biến dạng dẻo làm xô lệch mạng tạo nên hóa bền, biến cứng;
- kết tinh lại làm mất xô lệch mạng gây ra thải bền, giảm độ cứng.



2.3.3. Biến dạng nóng

Ưu điểm:

- Kim loại xít chặt, dẻo cao hơn, ít bị nứt, không bị biến cứng;
- Năng suất cao, dùng lực ép nhỏ, gia công được phôi lớn;
- Cải thiện độ hạt (pha giòn), đảm bảo cơ tính tổng hợp.

Nhược điểm:

- Khó khống chế nhiệt độ đồng đều trên phôi mỏng, lớn;
- Khó khống chế chính xác hình dạng, kích thước chi tiết;
- Chất lượng bề mặt không cao: vẩy oxyt, thoát cacbon.



Rèn (movie) ➡