

•Chương 5. Các chuyển pha khi nung nóng và làm nguội

5.1. Sơ lược về nhiệt động học và động học của chuyển pha rắn trong vật liệu

- Cũng tuân theo qui luật chung của chuyển pha (như lỏng-rắn)
- Sự thay đổi năng lượng tự do khi tạo mầm:

$$\Delta G = -\Delta G_v + \Delta G_s + \Delta G_{dh}$$

ΔG_{dh} – năng lượng đàn hồi do thể tích riêng của mầm và nền khác nhau, trong chuyển pha R-R quan trọng (Pha mẹ – ban đầu và pha con- mới tạo thành) → hình dạng sản phẩm.

- Hệ số khuếch tán ở pha rắn nhỏ hơn nhiều so với pha lỏng nên quá trình tạo mầm và phát triển mầm xảy ra khó khăn hơn
- Các khuyết tật (nút trống, lệch, tạp chất, đường trượt, biên giới hạt...) có vai trò quan trọng trong việc tạo mầm ký sinh

5.2. Chuyển biến khi nung nóng hợp kim Fe-C - sự austenit hóa

1. Cơ sở: dựa trên giản đồ pha Fe-Fe₃C

Nung đến T = A1 → Thép ct (P): [Fe α +Fe₃C]0,8%C \approx Fe γ (C)0,8%C

Nung trên A3 → Thép tct (P+F) → Austenit

Nung trên Am → Thép sct P+Xell → Austenit

Nhận xét:

- Mọi loại thép sau khi nung lên trên đường GSE (GDP Fe-Fe₃C) → một pha duy nhất Austenit
- Các mác thép khác nhau sẽ nhận được các tổ chức As khác nhau với %C như trong mác thép ban đầu

Chuyển biến ở trạng thái rắn gồm các nhóm sau:

- Không thay đổi thành phần hóa học, chỉ biến đổi về cấu trúc tinh thể: chuyển biến thù hình, chuyển biến M... (nhờ sự dịch chuyển ngử với khoảng cách nhỏ hơn hàng số mạng hay tập hợp nguyên tử với khoảng cách cỡ hằng số mạng).
- Không thay đổi cấu trúc, chỉ thay đổi thành phần hóa học: sự tách lớp dd rắn quá bão hòa $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ (HK Al-Zn dd rắn có %Zn thay đổi)
- Thay đổi cả cấu trúc lẫn thành phần hóa học: quá trình tiết pha (phân hủy dung dịch rắn quá bh)
- Chuyển trạng thái trật tự – không trật tự.

Các chuyển biến xảy ra khi nung nóng (tiếp theo)

2. Đặc điểm của chuyển biến P → Austenit

Vấn đề quan tâm: **nhệt độ** và **kích thước hạt Austenit**

*** Nhiệt độ chuyển biến** : phụ thuộc vào tốc độ nung

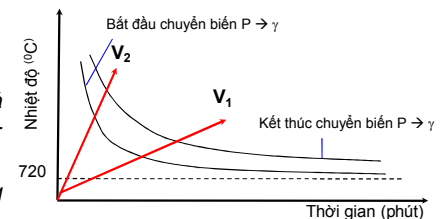
Giản đồ chuyển biến đẳng nhiệt khi nung

→ V_n nung càng nhanh thì nhiệt độ chuyển biến càng cao và thời gian chuyển biến càng ngắn

$$V_2 > V_1 \quad T_2 > T_1 \\ \tau_2 < \tau_1$$

→ thực tế: phải quá nhiệt độ tới hạn từ 20-30°C

Cao hơn : đến hàng trăm độ

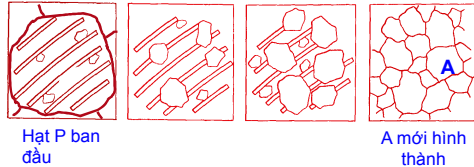


Các chuyển biến xảy ra khi nung nóng (tiếp theo)

* Kích thước hạt Austenit:

Đặc điểm cơ chế của chuyển biến P → Austenit

- Tạo mầm (mầm được tạo trên biên giới pha giữa F và Xe)
- Phát triển mầm (giống quá trình kết tinh)



Kích thước hạt A phụ thuộc:

- Điều kiện nung nóng T cao hơn (hoặc giữ nhiệt) → hạt lớn lên
- Thép bản chất di truyền hạt lớn và nhỏ

5.3. Các chuyển biến xảy ra khi giữ nhiệt

- Làm đồng đều nhiệt độ trên toàn tiết diện
- Đủ thời gian để hoàn thành các chuyển biến xảy ra khi nung nóng
- Làm đồng đều thành phần hoá học trên toàn bộ Austenit

Chú ý:

- Thời gian giữ nhiệt không nên quá dài do tạo nên sự phát triển hạt Austenit

Thép di truyền hạt lớn: Hạt As phát triển nhanh và đều đặn theo T
Sau NL → Giòn

Thép di truyền hạt nhỏ: Hạt As phát triển chậm theo T
TKhi $T > 930-950^{\circ}\text{C}$ → Hạt As phát triển nhanh

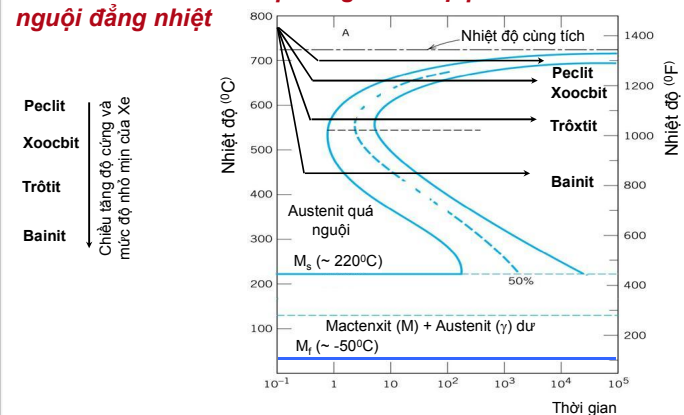
Thường nung nóng: $\leq 900^{\circ}\text{C}$, giữ nhiệt theo qui định → hạt nhỏ

Thép DT hạt nhỏ : trong tổ chức có yếu tố ngăn cản sự phát triển của hạt

6

5.4. Các chuyển biến xảy ra khi nguội chậm Austenit

1. Giản đồ TTT của thép cùng tích – Sự phân hóa As khi nguội đẳng nhiệt



P (700°C): 10-15HRC (180-200HB)

Xe tấm thô

X (650°C): 25-35HRC; Xe nhỏ mịn hơn

T (500-600°C): 40-45HRC; Xe nhỏ mịn hơn nữa

B (250-450°C): 50-55HRC

F 0,1%C

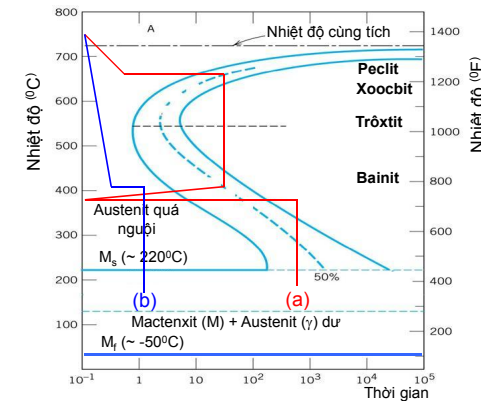
Xe có công thức chưa hẳn Fe_3C



Xác định thành phần tổ chức cuối cùng của các trường hợp sau:

Tổ chức của a là:

Tổ chức của b là:



Các chuyển biến xảy ra khi nguội chậm Austenit (tiếp theo)

2. Sự phân hoá As khi làm nguội liên tục

Các vectơ vận tốc nguội

$V_1 < V_2 < V_3 < V_4$

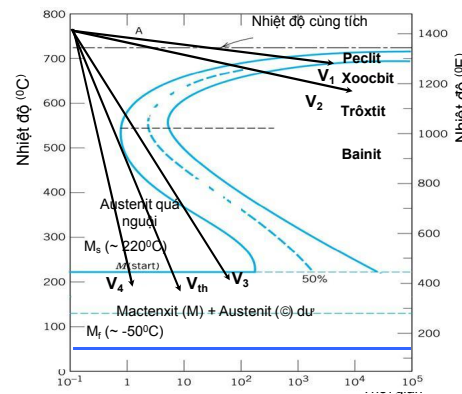
$V_1 \rightarrow$ Pearlite

$V_2 \rightarrow$ Xocobit

$V_3 \rightarrow$ Tróstit + Mactenxit

$V_4 \rightarrow$ Mactenxit

$V_{th} \rightarrow$ Mactenxit



Các chuyển biến xảy ra khi nguội chậm Austenit (tiếp theo)

Đặc điểm của sự phân hoá As khi làm nguội liên tục

* Tổ chức nhận được hoàn toàn phụ thuộc vào vectơ biểu thị tốc độ nguội trên giản đồ TTT

* Với chi tiết có tiết diện lớn, tổ chức sẽ không đồng nhất do ảnh hưởng của tốc độ nguội khác nhau

* Chỉ nhận được tổ chức hoàn toàn Bainit bằng cách làm nguội đẳng nhiệt

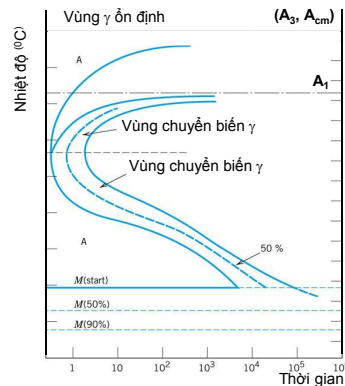
Chú ý:

Các điều kiện trên chỉ đúng với thép Cacbon

3. Giảm độ chuyển biến đẳng nhiệt của Au quá nguội (thép khác cùng tích)

Đặc điểm:

- Xuất hiện thêm nhánh phụ, chữ C có xu hướng dịch sang trái → tính ổn định của As quá nguội giảm

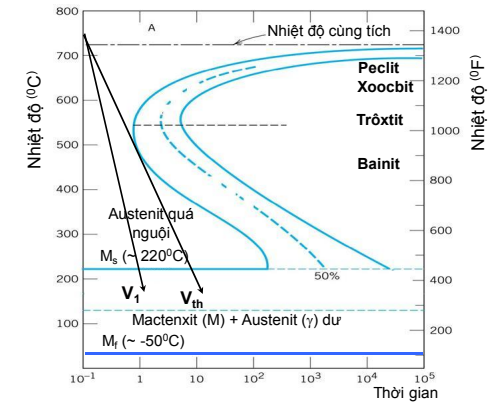


5.5. Các chuyển biến xảy ra khi nguội nhanh Austenit: Chuyển biến As → Mactenxit - Tôi

V_{th} : vận tốc nguội tới hạn

Khi vận tốc nguội: $V_1 > V_{th}$
→ chuyển biến thù hình

As → Mactenxit

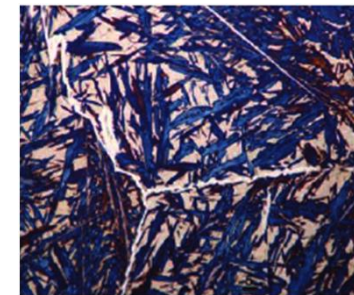
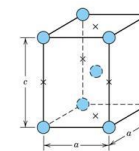


- Khi làm nguội đẳng nhiệt với độ quá nguội nhỏ (hay nguội chậm liên tục) → sẽ tiết ra ra F (Xe) khi gặp nhánh phụ

- Khi làm nguội đẳng nhiệt với độ quá nguội đủ lớn (hay làm nguội liên tục đủ nhanh) → véc tơ nguội không gặp nhánh phụ : As → [F+Xe] ở dạng xoocbit, tróxtit và bainit có %C≠0,8 → cùng tích giả

1. Bản chất của Mactenxit

- Là dung dịch rắn quá bão hoà của C trong Fe_α
- Nồng độ C như trong Austenit
- Kiểu mạng chính phương tâm khối c/a ~ 1,001-1,06



- Cacbon sẽ nằm trong các lỗ hổng 8 mặt
- Mactenxit là có độ cứng cao do mức độ gây xô lệch mạng lớn

2. Các đặc điểm của chuyển biến Mactenxit

- Chỉ xảy ra khi làm nguội nhanh và liên tục A với tốc độ $V > V_{th}$
- Chuyển biến không khuếch tán
- Quá trình chuyển biến xảy ra liên tục, tốc độ phát triển nhanh
- Chỉ xảy ra trong khoảng giữa hai nhiệt độ bắt đầu (M_s) và kết thúc (M_f)
- Chuyển biến xảy ra không hoàn toàn

3. Cơ tính của Mactenxit

- **Độ cứng:** phụ thuộc vào hàm lượng C
- **Tính giòn:** tỷ lệ thuận với độ cứng

Lý do giòn:

- do xô lệch mạng không có khả năng BD dẻo
- Tồn tại ứng suất bên trong lớn (ứs nhiệt+tổ chức)

Phụ thuộc:

- Kim M càng nhỏ mịn → giòn càng thấp (→ khi nung As nhỏ mịn) - ứs bên trong càng nhỏ → càng ít giòn

→ **thép hạt nhỏ, đúng nhiệt độ tôi, phương pháp tôi thích hợp**



Độ cứng của thép tôi là độ cứng của Mactenxit ???

19

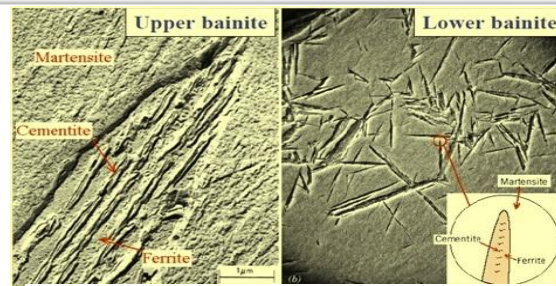
• M_s , M_f phụ thuộc vào:

- As càng nhiều C và NTHK (trừ Si, Co, Al) → M_s , M_f càng thấp

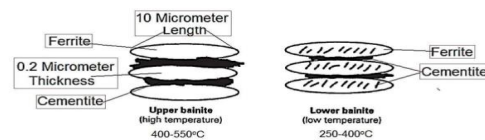
• **Lượng As dư phụ thuộc** vào M_f → càng âm → As càng nhiều → sau tôi không đạt được độ cứng max
 - Nguyên nhân khác: $V_M > V_{As}$ khi chuyển biến V tăng phần As chưa chuyển biến chịu sức ép ngày càng tăng đến mức không chuyển biến được

5.6. Chuyển biến của Austenit thành Bainit

- Bainit là hỗn hợp của dung dịch rắn α qbh C (0,1%C) và Xe (công thức chưa hẳn là Fe_3C)
- Tạo thành khi nguội đẳng nhiệt ở vùng dưới lưng đường chữ C
- **Có 2 loại Bainit:**
 - + B trên: Tạo thành khi giữ ở nhiệt độ cao (vùng sát lưng đường cong chữ C - B trên có cấu trúc dạng lông chim: Cacbit phân bố giữa các tấm Ferit và bên trong tấm.
 - + B dưới: tạo thành khi giữ đẳng nhiệt ở T gần nhiệt độ chuyển biến mactenxit - B dưới: có dạng hình kim giống M ram. Cacbit chủ yếu tiết ra bên trong tấm Ferit
- Chuyển biến có vị trí trung gian giữa chuyển biến khuếch tán As → P và không khuếch tán As → M nên mang đặc điểm của cả 2 chuyển biến



Upper and Lower Bainite (Microstructure)



5.7. Các chuyển biến xảy ra khi nung nóng thép sau tôi - Ram thép

1. Sự không ổn định của Mactenxit và Austenit:

Là các pha không ổn định

$M \rightarrow$ dd rắn α quá bh

$\gamma \rightarrow$ không tồn tại ở T thường

\rightarrow chuyển biến

Mactenxit: $Fe_{\alpha}(C) \rightarrow Fe_3C + Fe_{\alpha}$

Austenit: $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_3C + Fe_{\alpha}$

2. Các chuyển biến khi ram (thép ct- 0,8%C)

• Giai đoạn I (<200°C):

- $T < 80^{\circ}C$: chưa xảy ra chuyển biến

- $80^{\circ}C < t < 200^{\circ}C$:

• M tôi bắt đầu chuyển biến



M tôi

M ram

cácbit ϵ có dạng tấm mịn

• γ chưa chuyển biến

Cuối GD1: $M_{ram} + \gamma_{dư}$

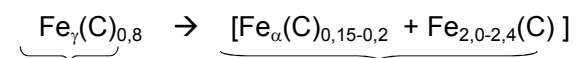
Độ cứng $M_{ram} < M_{tôi}$ 1-2 HRC

• Giai đoạn II (200-260°C):

• Cacbon tiếp tục tiết ra từ M



• As dư chuyển biến \rightarrow M ram



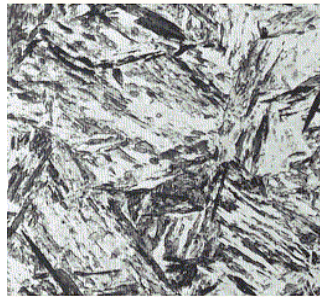
As dư

M ram

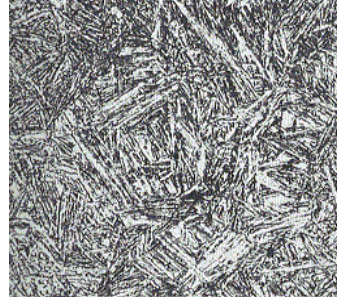
\rightarrow Tổ chức cuối giai đoạn II : **M ram**

độ cứng nhỏ hơn so với M tôi

Nếu thép (HK cao) sau tôi có nhiều As dư \rightarrow độ cứng chung tăng lên \rightarrow **hiện tượng độ cứng thứ 2**



M tôi



M ram

• Giai đoạn IV (>400°C):

- Không có chuyển biến mới, có sự sát nhập hạt Xe lớn lên

- 500-600°C nhận được tổ chức **Xoocbit ram** có σ_{ch} và a_k **cao nhất**

→ tùy thuộc vào từng giai đoạn mà có thể nhận được các tổ chức có cơ tính khác nhau

→ tùy thuộc vào điều kiện làm việc, yêu cầu cơ tính → chọn nhiệt độ ram thích hợp

• Giai đoạn III (260-400°C):

Tổ chức hai pha Cacbit ϵ và M_{ram} đồng thời chuyển biến:



→ hỗn hợp **Fe_{α} và Xe** nhỏ mịn phân tán → **Trôxtit**

Đặc điểm của Trôxtit:

- Độ cứng giảm đi so với M_{ram} (~45HRC)
- Tăng mạnh tính **đàn hồi** $\sigma_{đh} = \max$
- Không còn ứng suất bên trong vật liệu

5.8. Các công nghệ xử lý nhiệt cơ bản của vật liệu kim loại

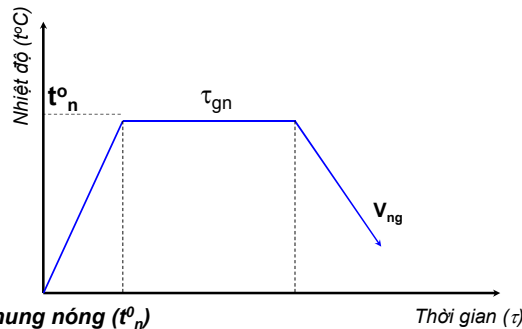
Nhiệt luyện là gì? → là công nghệ nung nóng kim loại, hợp kim đến nhiệt độ xác định, giữ nhiệt và làm nguội với tốc độ thích hợp

Mục đích: → làm biến đổi tổ chức → biến đổi cơ tính của vật liệu theo hướng mong muốn của con người

Đặc điểm của nhiệt luyện:

- Không làm thay đổi hình hoặc thay đổi không đáng kể dạng kích thước chi tiết
- Chi tiết vẫn ở trạng thái rắn
- Chi tiết sau nhiệt luyện phải được đánh giá qua tổ chức tế vi và cơ tính

Các yếu tố đặc trưng của quá trình xử lý nhiệt



Nhiệt độ nung nóng (t_n^o)

→ nhiệt độ cao nhất mà quá trình cần đạt đến

Thời gian giữ nhiệt (τ_{gn})

→ thời gian ngưng ở nhiệt độ nung nóng

Tốc độ nguội (V_{ng})

→ tốc độ làm nguội chỉ tiết sau khi giữ nhiệt

5.8.1. Ủ thép

1. Ủ là gì ? → Nung nóng + giữ nhiệt + nguội chậm cùng lò → nhận tổ chức cân bằng (giống GDP) → độ cứng thấp + độ dẻo cao

Vì sao cần ủ?

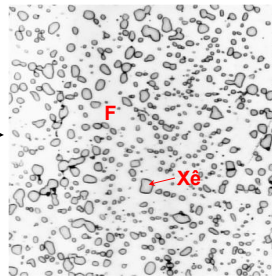
- Làm giảm độ cứng để dễ dàng gia công cơ khí (cắt, bào, tiện.....)
- Làm tăng thêm độ dẻo → dễ gia công biến dạng (dập, cán, kéo....)
- Khử bỏ ứng suất bên trong sinh ra trong quá trình GC
- Làm đồng đều thành phần hóa học trong toàn bộ chi tiết (ủ khuếch tán)
- Làm nhỏ hạt

Các chỉ tiêu đánh giá kết quả nhiệt luyện

1. Tổ chức tế vi

- cấu tạo pha, kích thước hạt, chiều sâu lớp hoá bền.....

Ảnh tổ chức của thép với sự phân tán xêmentit trên nền ferit



2. Độ cứng

→ biết giá trị độ cứng → ước lượng các chỉ tiêu cơ tính khác: độ dẻo, độ dai, độ bền

3. Độ cong vênh, biến dạng chi tiết

2. Các phương pháp ủ không có chuyển biến pha

$T < 727^\circ\text{C}$, không có chuyển biến $P \rightarrow A_s$

a. Ủ thấp ($200-600^\circ\text{C}$): → làm giảm hoặc khử bỏ ứng suất bên trong chi tiết (sau đúc, gia công cơ)

$200-400^\circ\text{C}$ Khử một phần ưs

$400-600^\circ\text{C}$ Khử hoàn toàn ưs

Đặc điểm: độ cứng không giảm

b. Ủ kết tinh lại ($600-700^\circ\text{C}$ cho thép C): → Phục hồi tính dẻo cho chi tiết qua BD

- Đặc điểm: độ bền cứng giảm, độ dẻo tăng

3. Các phương pháp ủ chuyển biến pha

a. Ủ hoàn toàn (thép tct):

nhận được tổ chức $[Fe\alpha + P \text{ (tấm)}]$

$$T_{\text{ủ}} = A_{c3} + (20-30^{\circ}\text{C})$$

- Mục đích:
 - làm nhỏ hạt
 - giảm độ cứng, tăng độ dẻo

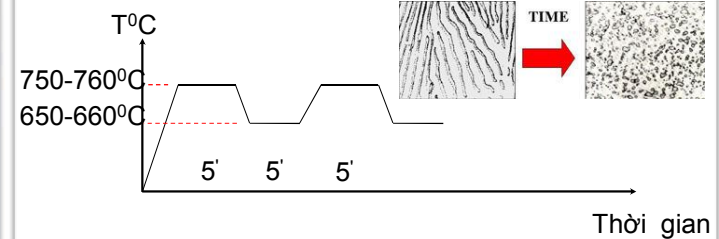
b. Ủ không hoàn toàn (thép %C > 0,7):

→ nhận được tổ chức $[X_{e_{II}} + P_{\text{hạt}}]$

$$\rightarrow T_{\text{ủ}} = A_{c1} + (20-30^{\circ}\text{C})$$

→ Mục đích: - làm giảm độ cứng để dễ gia công cắt gọt

c. Ủ cầu hóa: mục đích tạo thành P hạt

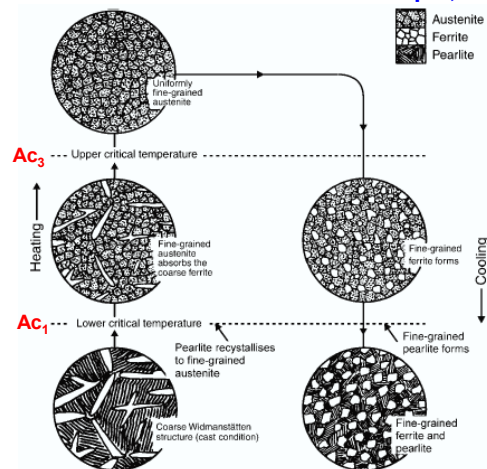


d. Ủ đẳng nhiệt: áp dụng cho thép hợp kim cao

• Mục đích: nhận được P → độ cứng thấp ($T \sim A1-50^{\circ}\text{C}$)

e. Ủ khuếch tán: áp dụng cho thép HK cao bị thiên tích khi đúc → T^0 ủ rất cao $1100^{\circ}\text{C}-1150^{\circ}\text{C}$, 10-15 h → sau ủ hạt lớn → ủ hay cán làm nhỏ hạt

Biến đổi tổ chức khi ủ hoàn toàn thép 0,5% C



5.8.2. Thường hóa thép

1. Thường hóa là gì?

→ Nung nóng (đạt A_s) + giữ nhiệt + nguội trong không khí tĩnh → nhận tổ chức gần ổn định (P hay X) độ cứng thấp (cao hơn ủ)

2. Cách lựa chọn nhiệt độ

- Thép trước cùng tích: $T_{\text{th}} = A_{c3} + (30-50^{\circ}\text{C})$
- Thép sau cùng tích: $T_{\text{th}} = A_{cm} + (30-50^{\circ}\text{C})$

3. Mục đích

- Đạt độ cứng thích hợp cho gia công cắt ($\%C \leq 0.25$)
- Làm nhỏ hạt Xe trước khi nhiệt luyện kết thúc
- Làm mất lưới Xell trong thép sau cùng tích

5.8.3. Tôi thép

1. Đ/n: Nung nóng + giữ nhiệt + nguội nhanh → nhận tổ chức M không ổn định với độ cứng cao

2. Mục đích

Nâng cao độ cứng và tính chống mài mòn cho chi tiết ($\%C > 0.3 \rightarrow \geq 50\text{HRC}$)

Nâng cao độ bền và sức chịu tải của chi tiết

3. Cách chọn nhiệt độ tôi

Thép tct và ct:

Thép sct: $T_{\text{tôi}} = A_{c3} + (30-50^\circ\text{C})$
 $T_{\text{tôi}} = A_{c1} + (30-50^\circ\text{C})$

- Thép hợp kim: %HK thấp → dựa theo thép C
 %HK cao → tra sổ tay NL

4. Tốc độ tôi tới hạn

- Là tốc độ nguội nhỏ nhất gây nên chuyển biến $A_s \rightarrow M$

- Các yếu tố ảnh hưởng

- Thành phần nguyên tố hợp kim trong A_s
- Sự đồng nhất của A_s
- Các phần tử rắn chưa hoà tan vào A_s
- Kích thước hạt A_s trước khi làm nguội

THINKING...



Tại sao ?

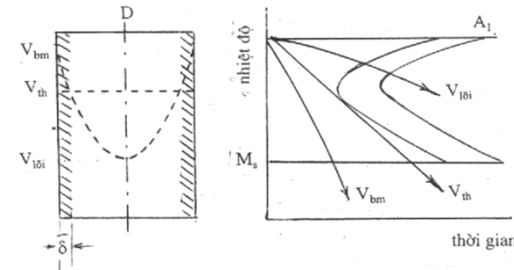
Thép TCT → tôi hoàn toàn? Tổ chức nhận được?

Thép SCT → tôi không hoàn toàn? Tổ chức nhận được?

5. Độ thấm tôi → là chiều sâu lớp tôi cứng có tổ chức M

Các yếu tố ảnh hưởng: - tốc độ nguội tới hạn

- tốc độ nguội chi tiết



$V_{ng} < V_{th} \rightarrow$ ct không được tôi

$V_{lõi} > V_{th} \rightarrow$ tôi thấu

* Tốc độ nguội nhanh độ thấm tôi tăng đường phân bố tốc độ nguội nông hơn