

UBND TỈNH QUẢNG NGÃI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHẠM VĂN ĐỒNG

---



**BÀI GIẢNG**  
**VẬT LIỆU KỸ THUẬT**  
**DÀNH CHO BẠC CAO ĐẲNG**

*BIÊN SOẠN: NGUYỄN VĨNH PHÔI  
TRẦN THANH TÙNG*

*Quảng Ngãi, tháng 12 năm 2013*

# LỜI NÓI ĐẦU

Nhiều ứng dụng trong khoa học và kỹ thuật như: cơ khí, xây dựng, hóa học, điện tử ... đều liên quan đến vấn đề vật liệu. Máy móc được cấu tạo từ nhiều chi tiết đòi hỏi tính chất có khi rất khác nhau và điều quan trọng đối với sinh viên ngành cơ khí là phải biết chọn đúng vật liệu cũng như phương pháp gia công để thỏa mãn cao nhất điều kiện làm việc với giá thành thấp nhất. Từ việc tính toán thiết kế kết cấu đến gia công, chế tạo, lắp ráp vận hành máy, thiết bị, tất cả đều liên quan mật thiết đến lựa chọn và sử dụng vật liệu. Ví dụ: một chiếc xe ô tô muốn hoạt động tốt thì việc chọn lựa vật liệu có vai trò hết sức quan trọng.

Do vậy, vật liệu kỹ thuật là môn học nghiên cứu mối quan hệ giữa cấu trúc và tính chất của vật liệu, trên cơ sở đó đề ra các biện pháp công nghệ nhằm cải thiện tính chất và sử dụng thích hợp vật liệu ngày một tốt hơn.

Để có thể lựa chọn và sử dụng chúng một cách tốt nhất. Nội dung bài giảng sẽ cung cấp kiến thức chung về cấu tạo kim loại, hợp kim và phi kim loại, cách sử dụng vật liệu trong kỹ thuật nói chung và lĩnh vực cơ khí nói riêng. Điều quan trọng nhất đối với người học là phải nắm được cơ tính và tính công nghệ của các vật liệu kể trên. Song điều quyết định đến cơ tính và tính công nghệ lại nằm ở cấu trúc bên trong. Bài giảng sẽ trang bị những kiến thức về yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc bên trong như thành phần hóa học, công nghệ chế tạo vật liệu (biến dạng dẻo, đúc và đặc biệt là nhiệt luyện).

Ngoài ra, trong thực tế sử dụng vật liệu, đặc biệt là vật liệu kim loại, không thể lựa chọn vật liệu một cách chung chung (ví dụ: thép) mà phải cụ thể (thép loại gì, với mác nào, ký hiệu nào) theo các quy định nghiêm ngặt về điều kiện kỹ thuật do các tiêu chuẩn tương ứng. Do vậy bài giảng sẽ giới thiệu cụ thể để giúp sinh viên có thể sử dụng đúng, chính xác vật liệu trong lĩnh vực cơ khí.

Bài giảng được biên soạn trên cơ sở tham khảo các tài liệu chuyên ngành vật liệu kỹ thuật trong nước và quốc tế. Ngoài ra, bài giảng dựa trên những hiệu chỉnh thiếu sót trước đây trong quá trình giảng dạy môn học này và trong các bài giảng trước. Hy vọng bài giảng là tài liệu tham khảo chính cho sinh viên, giáo viên giảng dạy môn vật liệu kỹ thuật.

Trong quá trình biên soạn bài giảng không thể tránh khỏi những thiếu sót. Mọi phản hồi góp ý cho nhóm tác giả xin gửi về Bộ môn cơ khí - Khoa Kỹ Thuật Công Nghệ - Đại Học Phạm Văn Đồng.

Nhóm tác giả

# MỤC LỤC



## Lời nói đầu

## Chương 1 – CẤU TRÚC TINH THỂ VÀ SỰ HÌNH THÀNH

1.1 Khái niệm mạng tinh thể .....	1
1.2 Các dạng liên kết.....	2
1.3 Ký hiệu mặt và phương mạng tinh thể .....	3
1.4 Các kiểu mạng thông dụng .....	7
1.5 Sai lệch trong mạng tinh thể .....	10

## Chương 2 – BIẾN DẠNG DỄ VÀ CƠ TÍNH CỦA VẬT LIỆU

2.1. Các khái niệm.....	15
2.2. Các đặc trưng cơ tính của vật liệu.....	24

## Chương 3 – SỰ KẾT TINH VÀ CHUYỂN PHA

3.1. Cấu tạo kim loại lỏng và điều kiện năng lượng của quá trình kết tinh.....	28
3.2. Quá trình tạo mầm và phát triển mầm.....	30
3.3. Khái niệm độ hạt khi kết tinh, ý nghĩa của độ hạt.....	32
3.4. Quá trình kết tinh thực tế của kim loại trong khuôn đúc.....	34

## Chương 4 – CẤU TẠO HỢP KIM VÀ GIẢN ĐỒ TRẠNG THÁI

4.1. Các khái niệm cơ bản.....	37
4.2. Các dạng cấu trúc hợp kim cơ bản.....	39
4.3. Giản đồ trạng thái của hợp kim.....	42
4.4. Giản đồ trạng thái Fe - C.....	48
4.5. Phân loại hợp kim Fe - C theo giản đồ trạng thái.....	53
4.6. Các nhiệt độ tới hạn Fe - C theo giản đồ trạng thái.....	56

## **Chương 5 – NHIỆT LUYỆN THÉP**

<b>5.1. Khái niệm nhiệt luyện thép</b> .....	58
<b>5.2. Các tổ chức đạt được khi nung nóng và làm nguội thép</b> .....	60
<b>5.3. Ủ và thường hóa thép</b> .....	70
<b>5.4. Tôi thép</b> .....	72
<b>5.5. Ram thép</b> .....	75
<b>5.6. Các khuyết tật xảy ra khi nhiệt luyện thép</b> .....	76
<b>5.7. Hóa bền bề mặt</b> .....	78

## **Chương 6 – THÉP VÀ GANG**

<b>6.1. Khái niệm chung về Thép và Gang</b> .....	80
<b>6.2. Các loại gang và công dụng</b> .....	82
<b>6.3. Các loại thép và công dụng</b> .....	85

## **Chương 7 – KIM LOẠI VÀ HỢP KIM MÀU**

<b>7.1. Nhôm và hợp kim nhôm</b> .....	94
<b>7.2. Đồng và hợp kim đồng</b> .....	97
<b>7.3. Hợp kim làm ổ trượt</b> .....	99

## **Chương 8 – VẬT LIỆU PHI KIM LOẠI**

<b>8.1. Khái niệm chung</b> .....	101
<b>8.2. Vật liệu vô cơ silicat</b> .....	101
<b>8.3. Vật liệu polyme</b> .....	102
<b>8.4. Vật liệu composites</b> .....	104
<b>8.5. Dầu mỡ</b> .....	105

### **Phụ lục**

### **Tài liệu tham khảo**

## Chương 1. CẤU TRÚC TINH THỂ VÀ SỰ HÌNH THÀNH

Tính chất (đặc biệt là cơ tính) của vật liệu phụ thuộc chủ yếu vào cách sắp xếp của các phân tử cấu thành (nguyên tử, phân tử, ion) và lực liên kết của chúng. Về mặt thành phần, vật liệu thường cấu thành bởi sự hòa trộn của các nguyên tố, các chất hóa học với cấu trúc độc lập, cố định. Chính vì vậy các kiến thức trong chương này có tính cơ sở và tầm quan trọng đặc biệt. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Cấu tạo nguyên tử, các dạng liên kết và đặc điểm của chúng.
- + Các đặc trưng của các kiểu mạng điển hình, kí hiệu phương và mặt của mạng tinh thể.
- + Khái niệm và tính chất của các dạng sai lệch trong mạng tinh thể.

### 1.1. Khái niệm mạng tinh thể

#### 1.1.1. Cấu tạo nguyên tử

Cấu tạo nguyên tử bao gồm hạt nhân và các electron, cấu tạo hạt nhân nguyên tử bao gồm hạt proton và hạt nơtron. Trong đó hạt nơtron không mang điện. Khi nguyên tử trung hòa về điện thì proton mang điện dương bằng điện tích của electron

Cấu hình electron chỉ rõ: số lượng tử chính (1,2,3,...) kí hiệu phân lớp (s,p,d,...) số lượng electron thuộc phân lớp (số mũ trên ký hiệu phân lớp)

Ví dụ: Đồng (Cu) có  $Z=29$  có cấu hình electron là:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

#### 1.1.2. Chất kết tinh và chất vô định hình

##### 1.1.2.1. Chất kết tinh (chất tinh thể):

Là những chất kết cấu rắn có dạng hình học xác định và có những đặc điểm:

- Các nguyên tử sắp xếp có hệ thống.
- Luôn luôn tồn tại một nhiệt độ nóng chảy (hoặc kết tinh) xác định. Khi nung lên nhiệt độ cao thì chuyển từ thể rắn sang thể lỏng.
- Luôn có tính dị hướng, có nghĩa là tính chất của nó (cơ, lý, hoá tính) theo các phương khác nhau luôn có sự khác biệt

##### 1.1.2.2. Chất vô định hình:

Là những chất có hình dạng không xác định như thủy tinh, keo, sáp, nhựa thông,

parafin, thuỷ ngân... và có những đặc điểm sau:

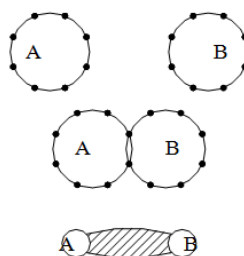
- Các nguyên tử sắp xếp không có hệ thống.
- Khi nung lên nhiệt độ cao thì chuyển từ thể rắn sang thể nhão rồi sang thể lỏng.
- Bề mặt gãy nhẵn không có dạng hạt.

## 1.2. Các dạng liên kết

### 1.2.1. Liên kết cộng hóa trị

Đây là dạng liên kết mà các nguyên tử tham gia liên kết góp chung điện tử ở lớp ngoài cùng, tạo ra lớp ngoài cùng đạt trị số bão hoà về số điện tử có thể ( $s^2p^6$ ).

Là loại liên kết có định hướng, nghĩa là xác suất tồn tại các điện tử tham gia liên kết lớn nhất theo phương nối tâm các nguyên tử.



Hình 1.1. Liên kết cộng hoá trị trong khí  $Cl_2$

- Cường độ liên kết phụ thuộc rất mạnh vào mức độ liên kết của các điện tử hoá trị với hạt nhân.

- Liên kết cộng hoá trị có thể xảy ra giữa các nguyên tử của cùng một nguyên tố (*đồng cực*) thuộc các nhóm từ IV A đến VII A (ví dụ  $Cl_2$ ,  $F_2$ ,  $Br_2$ , ...) hoặc các nguyên tử của các nguyên tố khác nhau (*dị cực*) thuộc các nhóm III A và V A hoặc II A và VI A

### 1.2.2. Liên kết Ion

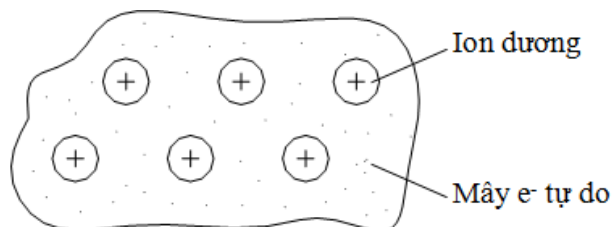
Là loại liên kết mạnh, hình thành bởi lực hút giữa các điện tích trái dấu (lực hút tĩnh điện Coulomb). Liên kết này xảy ra do các nguyên tử cho bớt điện tử lớp ngoài cùng trở thành Ion dương hoặc nhận thêm điện tử để trở thành Ion âm. Vì vậy liên kết Ion thường xảy ra và thể hiện rõ rệt với các nguyên tử có nhiều điện tử hoá trị (á kim điển hình) và các nguyên tử có ít điện tử hoá trị (kim loại điển hình). Ví dụ  $LiF$ ,  $NaCl$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , ...

Cũng giống liên kết cộng hoá trị, liên kết Ion càng mạnh (bền vững) khi nguyên tử chứa càng ít điện tử. Và nó là dạng liên kết không định hướng.

### 1.2.3. Liên kết kim loại

Là liên kết trong đó các cation(ion dương) kim loại nhún chìm trong đám mây electron tự do

Đặc điểm chung của các nguyên tử nguyên tố kim loại là có ít điện tử hoá trị ở lớp ngoài cùng, do đó chúng dễ mất (bứt ra) điện tử tạo thành các ion dương bị bao quanh bởi các mây điện tử tự do. Các ion dương tạo thành một mạng xác định, đặt trong không gian điện tử tự do chung, đó là mô hình của liên kết kim loại.



Hình 1.2. Liên kết kim loại

Liên kết kim loại là dạng hỗn hợp: gồm lực hút giữa các điện tích trái dấu và lực đẩy giữa các điện tích cùng dấu.

Tính chất: có ánh kim, dẫn điện, dẫn nhiệt tốt và tính dẻo, dai cao

### 1.2.4. Liên kết yếu (liên kết Van der Waals)

Liên kết Van der Waals là liên kết do hiệu ứng hút nhau giữa các nguyên tử hoặc phân tử bị phân cực. Liên kết này là loại liên kết rất yếu, dễ bị phá vỡ khi tăng nhiệt độ.



Hình 1.3. Liên kết Van der Waals

### 1.2.5. Liên kết hỗn hợp

Trong thực tế, liên kết trong các chất, vật liệu thông dụng thường mang tính hỗn hợp của nhiều loại. Ví dụ: Na và Cl có tính âm điện lần lượt là 0,93 và 3,16. Vì thế liên kết giữa Na và Cl trong NaCl gồm 25% liên kết ion và 48% liên kết cộng hóa trị

## 1.3. Ký hiệu mặt và phương mạng tinh thể

### 1.3.1. Khái niệm mạng tinh thể

Mạng tinh thể là mô hình không gian, dùng để nghiên cứu quy luật sắp xếp của nguyên tử (hoặc ion, phân tử) trong vật tinh thể.

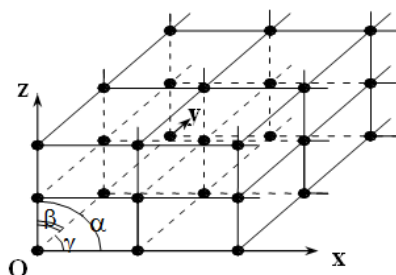
Mạng tinh thể có các tính chất cơ bản sau:

- Mạng tinh thể là vô tận, không tồn tại khái niệm kích thước mạng mà chỉ có giá trị xác định là các véc tơ đơn vị và các góc định vị (do số lượng nguyên tử trong vật rắn là vô tận).

- Khi dịch chuyển mạng tinh thể đi một khoảng cách bằng khoảng cách giữa hai chất điểm theo phương nối hai chất điểm đó, mạng tự trùng lặp với chính mình. Khoảng cách đó gọi là chu kỳ lặp của mạng. Nếu khoảng cách đó được đo theo các trục tọa độ thì được gọi là chu kỳ mạng hay thông số mạng.

- Mạng tinh thể là mô hình không gian, tồn tại nhiều yếu tố đối xứng khác nhau.

- Tùy thuộc vào bộ các thông số xác định mạng tinh thể, chúng ta có các kiểu mạng khác nhau và do đó có các quy luật sắp xếp chất điểm khác nhau.



Hình 1.4. Mô hình mạng tinh thể

✓ Ô cơ bản trong mạng tinh thể:

Phần tử nhỏ nhất có cấu tạo đặc trưng cho toàn bộ kiểu mạng và khi đó mạng tinh thể được hình thành là do vô số các phần tử đó xếp sát nhau. Phần tử đó gọi là ô cơ bản của mạng tinh thể.

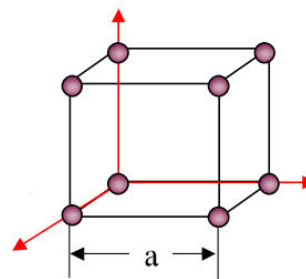
Như vậy với tư cách là ô cơ bản của mạng tinh thể, cần phải thoả mãn các nguyên tắc sau:

- Ô cơ bản phải đảm bảo đặc trưng hoàn chỉnh cho cấu tạo một kiểu mạng, bao gồm thoả mãn các điều kiện đối xứng của tinh thể (đối xứng gương, đối xứng tâm, đối xứng trục quay) và đỉnh của ô cơ bản phải có chất điểm.

- Thể tích của ô cơ bản phải là nhỏ nhất.

- Thông số mạng(hằng số mạng) là kích thước ô cơ bản, thường là kích thước các cạnh của ô cơ bản từ đó xác định toàn bộ kích thước của ô cơ bản.

*Với một kiểu mạng tinh thể chúng ta có ô cơ bản đặc trưng của nó, thông qua ô cơ bản chúng ta xác định được các kiểu mạng tinh thể cơ bản.*



Hình 1.5. Ô cơ bản



### 1.3.2. Ký hiệu mặt và phương tinh thể

*Việc xác định mặt và phương tinh thể có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong nghiên cứu tinh thể. Khi nghiên cứu cấu trúc tinh thể bằng các thiết bị hiện đại, người ta phân tích cấu trúc thông qua các tín hiệu số trên cơ sở sự phản hồi dưới tác dụng của các yếu tố phân tích. Do đó người ta đã đưa ra các phương pháp ký hiệu mặt và phương tinh thể bằng các bộ số nguyên. Với các hệ mạng khác nhau ta dùng các bộ chỉ số khác nhau, ở đây ta xét hai hệ chỉ số là chỉ số Miller và Miller - Bravais cho hai hệ mạng hay gặp là lập phương và lục giác.*

#### 1.3.2.1. Chỉ số Miller cho hệ lập phương

✓ Chỉ số cho mặt tinh thể:

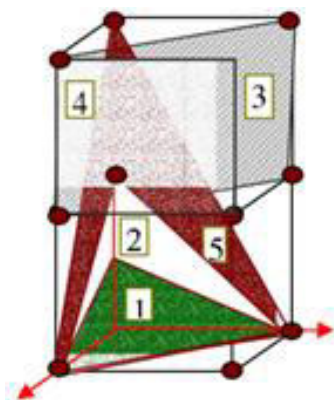
Chỉ số Miller cho mặt tinh thể là một bộ số nguyên (h, k, l) không có thừa số chung được xác định theo trình tự như sau:

- Tìm tọa độ giao điểm của mặt cần ký hiệu với ba mặt phẳng tọa độ của mạng tinh thể.

- Lấy nghịch đảo ba tọa độ đó.

- Quy đồng mẫu số (nếu cần) và đặt thừa số chung (nếu có). Thu được bộ ba số nguyên (h, k, l) không có thừa số chung. Khi xác định chỉ số mặt ta có thể thấy rằng, có rất nhiều mặt có cùng trị số tuyệt đối của bộ chỉ số, chỉ khác nhau về thứ tự chỉ số hoặc dấu của chúng. Các mặt như vậy hợp thành một họ mặt. Do đó khi cần xác định số mặt thuộc một họ ta chỉ cần thực hiện phép hoán vị và đổi dấu cho các chỉ số đã xác định được của một mặt. Các mặt thuộc cùng một họ có tính chất hoàn toàn giống nhau và được ký hiệu là {h, k, l}.

Mặt	điểm cắt các trục	nghịch đảo	chỉ số
1	1,1,1/2	1,1,2	(112)
2	1,1,1	1,1,1	(111)
3	1,1,∞	1,1,0	(110)
4	1, ∞,∞	1,0,0	(100)
5	1,1,2	1,1,1/2	(221)



Hình 1.6. Các họ mặt tinh thể trong mạng lập phương

✓ Chỉ số phương tinh thể trong mạng:

Chỉ số Miller cho phương tinh thể trong mạng lập phương là một bộ số  $\langle u, v, w \rangle$  không có thừa số chung, được xác định như sau:

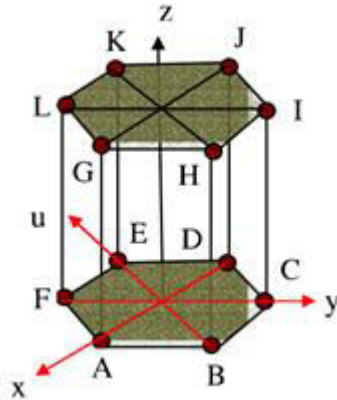
- Xác định tọa độ của chất điểm thuộc phương đó, gần nhất với gốc tọa độ, theo ba trục tọa độ ( $Ox, Oy, Oz$ ). Lưu ý là với phương không đi qua gốc tọa độ thì ta xác định chỉ số theo phương song song với nó, đi qua gốc tọa độ. Do cách xây dựng mạng tinh thể chúng ta thấy rõ ràng các phương song song với nhau sẽ có cùng tính chất (ở đây cần hiểu rằng phương tinh thể là các phương có chất điểm thuộc nó).

- Quy đồng mẫu số và đặt thừa số chung ta có bộ chỉ số  $\langle u, v, w \rangle$  để ký hiệu cho phương cũng tương tự như đối với mặt tinh thể, các phương tinh thể có cùng trị số tuyệt đối của bộ chỉ số thuộc cùng một họ và được ký hiệu là  $[u, v, w]$ . Các phương trong cùng một họ cũng có cùng tính chất như nhau.

### 1.3.2.2. Chỉ số Miller - Bravais cho mạng lục giác

Chỉ số Miller-Bravais với tọa độ 4 trục  $Ox, Oy, Ou, Oz$ . chỉ số Miller-Bravais được kí hiệu  $(h\ k\ i\ l)$ , trong đó chỉ số thứ ba  $i$  (của trục  $Ou$ ) có quan hệ  $i = -(h+k)$

Mặt	Chỉ số Miller	Chỉ số Miller-Bravais
ABHG	(100)	$(10\bar{1}0)$
BCIH	(010)	$(01\bar{1}0)$
AGLF	(110)	$(1\bar{1}00)$
ABCDEF	(001)	(0001)



Hình 1.7. Các họ mặt tinh thể trong mạng lục giác

**1.4. Các kiểu mạng thông dụng**

**1.4.1. Mạng lập phương thể tâm (A2):**

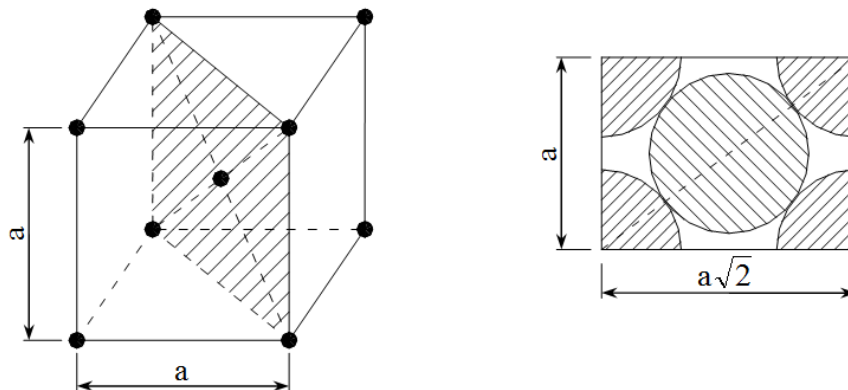
Xét ô cơ bản của mạng là một khối lập phương, các nguyên tử bố trí ở 8 đỉnh và tâm của khối.

- Thông số mạng: a

- Số nguyên tử trong một ô cơ bản (số nguyên tử thuộc khối  $n_v$ ):  $n_{nt} = 8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$

(nguyên tử)

- Số sắp xếp K: số các nguyên tử gần nhất quanh một nguyên tử  $K = 8$



Hình 1.8. Mạng lập phương thể tâm và mặt xếp sít của nguyên tử

- Bán kính nguyên tử:  $r_{nt} = \frac{a\sqrt{3}}{4}$

- Lỗ hổng trong mạng tinh thể: do các nguyên tử là hình cầu, khi xếp sít nhau mà không bị biến dạng sẽ tồn tại các lỗ hổng.

Lỗ hổng khối tám mặt nằm ở tâm của các mặt bên, lỗ hổng khối bốn mặt thuộc cạnh bên.

Ý nghĩa: cho phép sự xâm nhập khuếch tán của vật chất trong tinh thể để cho phép tạo ra hợp kim.

- Mật độ mặt của mạng tinh thể: là tỷ lệ của tiết diện nguyên tử thuộc một mặt phẳng giới hạn trong một ô cơ bản so với diện tích của mặt đó (chỉ tính cho mật độ nguyên tử dày nhất là mặt bên vững).

$$M_S = \frac{n_S \cdot S_{Int}}{S_{mat}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^2}{a^2 \sqrt{2}} \cdot 100\% = 83,4\%$$

Trong đó:  $M_S$ : mật độ mặt của mạng tinh thể

$n_S$ : số mặt cắt của một nguyên tử trên một mặt tinh thể

$S_{Int}$ : diện tích mặt cắt của một nguyên tử

$S_{mat}$ : diện tích mặt tinh thể

Ý nghĩa: đánh giá mức độ liên kết của nguyên tử trong mạng đang xét, mật độ mặt càng lớn thì mạng càng bền vững.

- Mật độ khối của mạng tinh thể: là tỉ lệ phần trăm thể tích nguyên tử trong một ô cơ bản với thể tích ô cơ bản.

$$M_V = \frac{n_V \cdot V_{Int}}{V_{ocoban}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{16} \pi a^3}{a^3} \cdot 100\% = 68\%$$

Trong đó:  $M_V$ : mật độ khối của mạng tinh thể

$n_V$ : số nguyên tử trên một ô cơ bản

$V_{Int}$ : thể tích của một nguyên tử

$V_{ocoban}$ : thể tích của ô cơ bản

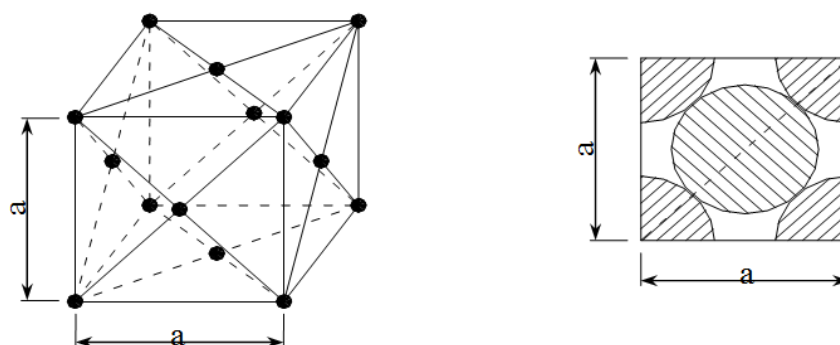
Ý nghĩa: cho biết mức độ điền đầy vật chất của kiểu mạng, do đó cho biết sơ bộ đánh giá khối lượng riêng của vật liệu có kiểu mạng đó.

- Những kim loại có kiểu mạng A2: Fe( $\alpha$ ), Cr, W, Mo ...

#### 1.4.2. Mạng lập phương diện tâm (A1):

Xét ô cơ bản của mạng là một khối lập phương, các nguyên tử bố trí ở 8 đỉnh và tâm của 6 mặt bên.

- Thông số mạng:  $a$
- Số nguyên tử trong một ô cơ bản :  $n_{nt} = 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$  (nguyên tử)
- Số sắp xếp K: số các nguyên tử gần nhất quanh một nguyên tử  $K = 12$
- Cách sắp xếp của nguyên tử: các nguyên tử được xếp xít nhau theo đường chéo mặt bên của khối.
- Bán kính nguyên tử:  $r_{nt} = \frac{a\sqrt{2}}{4}$



Hình 1.9. Mạng lập phương diện tâm và mặt xếp xít của nguyên tử

- Mật độ mặt của mạng tinh thể:

$$M_s = \frac{n_s \cdot S_{int}}{S_{mat}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{a\sqrt{2}}{4}\right)^2}{a^2} \cdot 100\% = 78,5\%$$

- Mật độ khối của mạng tinh thể:

$$M_v = \frac{n_v \cdot V_{int}}{V_{ocoban}} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot \frac{\sqrt{2}}{24} \pi \cdot a^3}{a^3} \cdot 100\% = 74\%$$

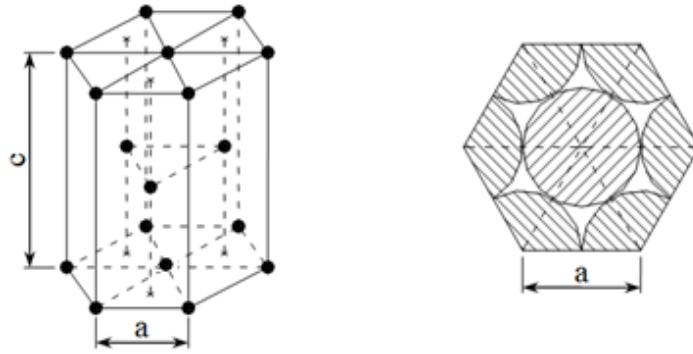
- Những kim loại có kiểu mạng A1: Fe( $\gamma$ ), Ni, Mn, Au ...

### 1.4.3. Mạng lục giác xếp chặt (A3):

Các nguyên tử nằm ở các đỉnh, ở giữa hai mặt đáy hình lăng trụ lục giác và ở tâm ba khối năng trụ tam giác khác nhau.

- Thông số mạng:  $a, c$

$\frac{c}{a}=1,663$  : Độ chính  
 phương của mạng tinh  
 thể  
 $\alpha = \beta = 90^0$   
 $\gamma = 120^0$



Hình 1.10. Mạng lục giác xếp chặt và mặt xếp sít của nguyên tử

- Số nguyên tử trong một ô cơ bản (số nguyên tử thuộc khối  $n_v$ ):  $n_{nt}$

$$n_{nt} = n_v = 12 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{2} + 3 = 6 \text{ (nguyên tử)}$$

- Số sắp xếp K: số các nguyên tử gần nhất quanh một nguyên tử  $K = 12$

- Cách sắp xếp của nguyên tử: các nguyên tử được xếp xít nhau theo mặt đáy của khối

- Bán kính nguyên tử:  $r_{nt} = \frac{a}{2}$

- Mật độ mặt của mạng tinh thể:  $M_s = \frac{n_s \cdot S_{int}}{S_{mat}} \cdot 100\% = \frac{3 \cdot \pi \cdot \frac{a^2}{4}}{\frac{3\sqrt{3}}{2} a^2} \cdot 100\% = 91\%$

- Mật độ khối của mạng tinh thể:

$$M_v = \frac{n_v \cdot V_{int}}{V_{ocoban}} \cdot 100\% = \frac{6 \cdot \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot a^3}{\frac{3 \cdot 1,663 \cdot \sqrt{3}}{2} a^3} \cdot 100\% = 73\%$$

- Những kim loại có kiểu mạng  $A_3$ : Uran (U), Platin (Pt), Osmi (Os) ...

### 1.5. Sai lệch trong mạng tinh thể

**1.5.1. Sai lệch điểm:** là sai lệch mạng có kích thước nhỏ (vài thông số mạng) theo cả ba chiều. Bao gồm nút trống, nguyên tử xen kẽ và nguyên tử lạ.

#### 1.5.1.1. Nút trống và nguyên tử xen kẽ

Trong mạng tinh thể các nguyên tử (ion) luôn luôn dao động quanh vị trí cân bằng của chúng nhờ năng lượng dao động. Một số nguyên tử nào đó có năng lượng đủ

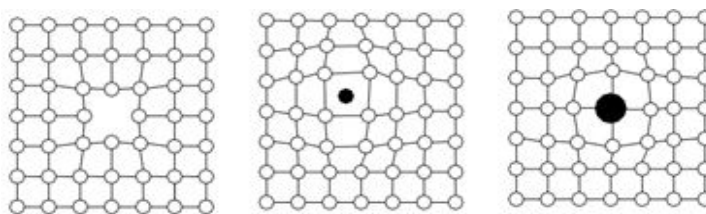
lớn với biên độ dao động lớn, chúng có khả năng bứt khỏi vị trí cân bằng của mình, để lại ở đó các nút trống không có nguyên tử chiếm chỗ. Sau khi rời khỏi vị trí cân bằng, nguyên tử hoặc di chuyển ra ngoài bề mặt của tinh thể (hình a) hoặc đi vào vị trí xen kẽ giữa các nút mạng (hình b).

### 1.5.1.2. Nguyên tử lạ

Kim loại dù nguyên chất đến đâu cũng chứa một lượng nhất định nguyên tử của các nguyên tố khác gọi là tạp chất hay nguyên tử lạ

Các nguyên tử tạp chất có thể thay thế vị trí của nguyên tử cơ sở ở nút mạng hoặc nằm xen kẽ giữa các nút mạng.

Ảnh hưởng: tạo các trường ứng suất dư có dấu khác nhau phụ thuộc vào đường kính nguyên tử lạ.



a) Nút trống      b) Nguyên tử xen kẽ      c) Nguyên tử lạ

Hình 1.11. Sai lệch điểm trong mạng tinh thể

### 1.5.2. Sai lệch đường

Sai lệch đường là sai lệch mạng có kích thước nhỏ theo hai chiều đo và lớn theo chiều đo còn lại, tức là có dạng đường (thẳng hoặc cong).

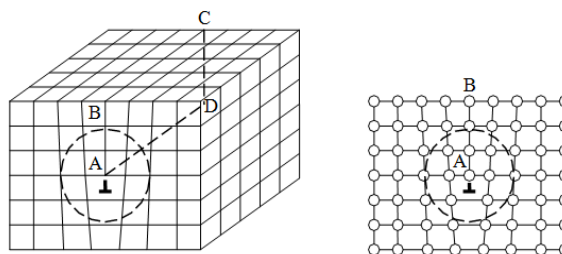
Các dạng lệch chủ yếu là lệch thẳng, lệch xoắn và lệch hỗn hợp.

#### 1.5.2.1. Lệch thẳng (lệch biên)

Nguyên nhân: Do sự xuất hiện các mặt tinh thể không hoàn chỉnh dẫn đến tạo ra các trục có năng lượng cao hơn, do đó kém ổn định hơn nên tạo ra trục lệch. Để đánh giá cường độ lệch người ta dùng véc tơ Burgers:  $\vec{b}$ .

Lệch thẳng có thể hình dung bằng cách sau: Giả sử có mạng tinh thể hoàn chỉnh gồm những mặt nguyên tử song song và cách đều nhau. Bây giờ nếu chúng ta chèn thêm nửa mặt phẳng ABCD vào nửa phần trên của tinh thể thì các mặt nguyên tử thẳng đứng nằm về hai phía mặt ABCD sẽ không còn hoàn toàn song song nhau nữa, chúng bị cong đi ở vùng gần đường AD. Các nguyên tử nằm trong vùng này bị xô dịch khỏi vị trí cân bằng cũ của mình: Các nguyên tử ở vùng phía dưới đường AD bị đẩy xa ra

một ít (vùng có ứng suất kéo) còn các nguyên tử ở phía trên đường AD bị ép lại một ít (vùng có ứng suất nén). Như vậy vùng có sai lệch nằm xung quanh đường thẳng AD và vì vậy người ta gọi là lệch thẳng. Đường AD được gọi là trục có lệch thẳng.



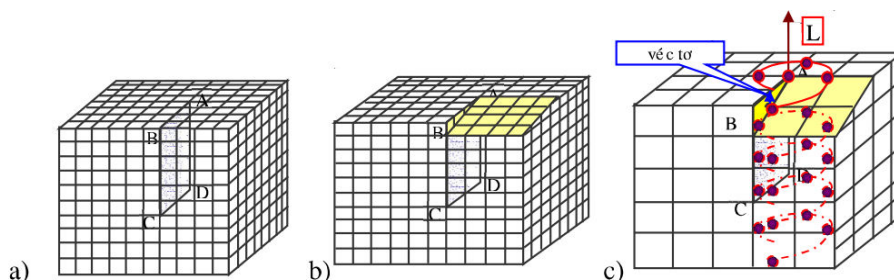
Hình 1.12. Mô hình lệch thẳng

### 1.5.2.2. Lệch xoắn

Nguyên nhân: Do sự dịch chuyển của các mặt tinh thể không hoàn chỉnh tạo ra các bề mặt nhấp nhô tế vi trong mạng tinh thể.

Lệch xoắn có thể hình dung bằng cách sau: Các tinh thể hoàn chỉnh bằng nửa mặt phẳng ABCD xong xô dịch hai mép ngoài ngược chiều nhau làm thế nào để mặt nguyên tử nằm ngang thứ nhất bên phải trùng với mặt nguyên tử thứ hai bên trái. Kết quả làm cho các nguyên tử nằm gần đường AB bị xô dịch khỏi vị trí cân bằng cũ của mình. Sở dĩ có danh từ lệch xoắn vì các lớp nguyên tử trong vùng sai lệch mạng đi theo hình xoắn ốc. Mặt phẳng ABCD gọi là mặt trượt của lệch. Các nguyên tử nằm trong vùng dọc theo trục 1. Trục L gọi là trục của lệch xoắn.

Véc tơ Burgers: là vectơ đóng kín vòng tròn Burgers vẽ trên mặt phẳng vuông góc với trục lệch khi chuyển từ tinh thể không lệch sang tinh thể lệch. Véc tơ Burgers luôn luôn song song với trục lệch ( $AD=L$ ).



Hình 1.13. Mô hình lệch xoắn

- a) Tinh thể không lệch
- b) Mô hình tạo thành lệch
- c) Đặc điểm sắp xếp nguyên tử trong vùng lệch



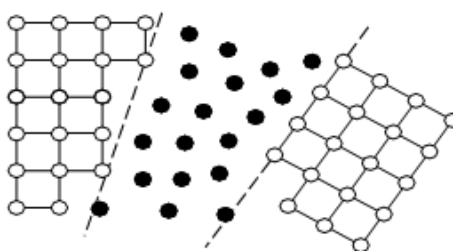
### 1.5.3. Sai lệch mặt

Sai lệch mặt là những dạng sai lệch có kích thước nhỏ theo một chiều đo và lớn theo hai chiều đo còn lại. Sai lệch mặt trong mạng tinh thể gồm các dạng chủ yếu: biên giới hạt, biên giới siêu hạt và mặt ngoài tinh thể.

#### 1.5.3.1. Biên giới hạt

Các nguyên tử trên biên giới hạt chịu nhiều sự quy định. Do đó tạo ra mặt biên giới hạt có sự sắp xếp sai quy luật tạo thành sai lệch.

Vùng tiếp giáp giữa các hạt trong đa tinh thể là một dạng sai lệch mặt, vì ở đây các nguyên tử sắp xếp không theo trật tự nhất định, đặc trưng cho các vùng phía bên trong. Vì vậy kim loại ở vùng biên giới có cấu tạo giống như vật thể vô định hình. Giả thiết này cho phép giải thích một số tính chất của vùng biên giới như năng lượng tự do, khả năng hòa tan tạp chất



Hình 1.14. Cách sắp xếp nguyên tử trong vùng biên giới hạt theo thuyết "vô định hình"

Biên giới hạt chứa rất nhiều sai lệch mạng. kim loại chứa nhiều tạp chất bao nhiêu thì vùng biên giới càng dày bấy nhiêu vì nó có khả năng hòa tan nhiều nguyên tử tạp chất. Năng lượng tự do của biên giới cao hơn so với các vùng phía trong và thường được đánh giá bằng sức căng biên giới hạt (tương tự như sức căng bề mặt của mặt ngoài).

Do đặc điểm về cấu tạo, vùng biên giới hạt có một số tính chất sau:

- Có nhiều độ nóng chảy thấp hơn một ít so với các vùng phía bên trong.
- Có hoạt tính hóa học cao hơn thể hiện ở tốc độ bị ăn mòn hóa học cao.
- Khi chuyển biến pha, biên giới là nơi để sinh ra tâm mầm nhất
- Có khả năng khuếch tán cao với tốc độ nhanh hơn so với vùng bên trong
- Góp phần khá lớn vào điện trở của kim loại.
- Ở nhiệt độ cao trên vùng biên giới hạt xảy ra quá trình chảy dẻo

- Biên giới có tác dụng cản trở quá trình trượt khi biến dạng.

#### 1.5.3.2. Khái niệm về siêu hạt (block) và biên giới siêu hạt

Hạt được phân chia thành vô số vùng nhỏ có kích thước khoảng ( $10^{-5} \div 10^{-3}$ ) và phương mạng lệch nhau một góc rất nhỏ, thường nhỏ hơn  $1^0$ . Những vùng nhỏ này của hạt gọi là siêu hạt (hoặc block).

#### 1.5.4. Sai lệch khối (sai lệch thể tích)

Sai lệch khối trong mạng tinh thể của vật liệu là các dạng sai lệch có kích thước lớn theo cả ba chiều đo.

## Chương 2. BIẾN DẠNG DẸO VÀ CƠ TÍNH CỦA VẬT LIỆU

Việc khảo sát biến dạng dẻo không những giúp hiểu biết chính quá trình biến dạng của kim loại, mà điều quan trọng là còn làm rõ được bản chất của quá trình đó và các biện pháp nâng cao cơ tính của vật liệu.

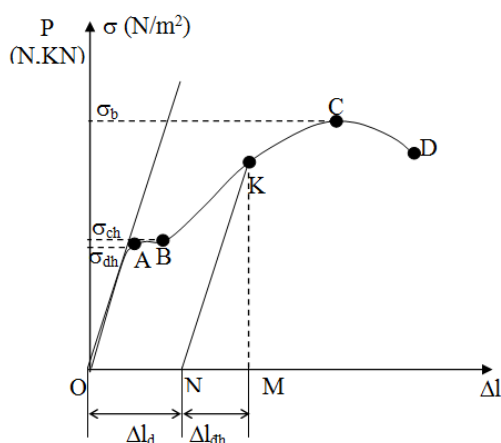
Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Khái niệm và đặc trưng của biến dạng đàn hồi, biến dạng dẻo và phá hủy.
- + Nêu được cơ chế của biến dạng dẻo.
- + Giải thích được phá hủy dẻo hay phá hủy giòn khi nhìn vào mặt phá hủy cụ thể.
- + Trình bày sự thay đổi tổ chức và cấu trúc tinh thể sau biến dạng dẻo, các phương pháp nâng cao độ bền vật liệu.
- + Nêu các hiện tượng xảy ra khi nung kim loại sau biến dạng dẻo và các chỉ tiêu cơ tính.

### 2.1. Các khái niệm

#### 2.1.1. Biến dạng đàn hồi, biến dạng dẻo và phá hủy

##### 2.1.1.1. Biểu đồ kéo kim loại



Hình 2.1. Biểu đồ tải trọng – biến dạng

Khảo sát quá trình biến dạng của mẫu, ta có thể rút ra 3 yếu tố biến dạng sau đây: Biến dạng đàn hồi là biến dạng bị mất đi ngay sau khi khử tải trọng, biến dạng dẻo có kèm theo sự thay đổi hình dạng sau khi khử tải trọng và sự phá hủy làm cho mẫu

tách rời thành những phần riêng lẻ. Tương ứng với 3 yếu tố đó là 3 giai đoạn của biến dạng.

- + Biến dạng đàn hồi (đoạn OA)
- + Biến dạng dẻo - đường cong AB
- + Biến cứng - đường cong BC
- + Giai đoạn phá hủy - đường cong CD

Biến dạng đàn hồi không những xảy ra trong giai đoạn đàn hồi mà ngay cả trong giai đoạn biến dạng dẻo và phá hủy. Chính vì vậy, độ biến dạng của 2 giai đoạn này gồm 2 phần: đàn hồi và dẻo nên  $\Delta L = \Delta l_{dh} + \Delta l_d$

### 2.1.1.2. Biến dạng dẻo

Đặc trưng của biến dạng dẻo là biến dạng sau khi bỏ tải trọng mà vẫn tồn tại một lượng biến dạng dư làm mẫu bị thay đổi về hình dạng và kích thước.

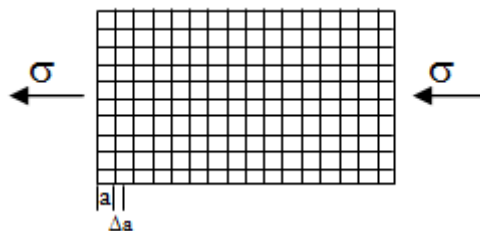
Ý nghĩa: Làm thay đổi hình dạng, kích thước mà kim loại không bị phá hủy cho phép gia công các sản phẩm có hình dạng xác định, làm cơ sở lý thuyết gia công kim loại bằng áp lực.

### 2.1.2. Biến dạng dẻo đơn tinh thể

#### *-Dạng ứng suất gây biến dạng dẻo*

Xét ứng suất trên mặt tinh thể:

\* Khi ứng suất là ứng suất pháp ( $\sigma$ )

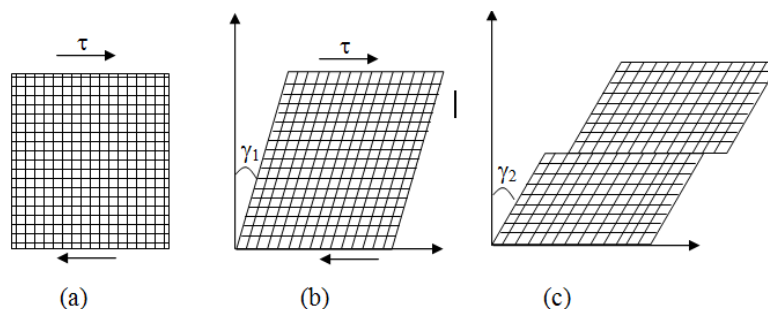


Hình 2.2. Ứng suất tác dụng lên mạng tinh thể

Nếu tác dụng lên tinh thể ứng suất pháp thuần túy (kéo theo nén) thì khoảng cách nguyên tử theo chiều trục giao với mặt tinh thể sẽ tăng hoặc giảm. Nếu ứng suất bé thì sự thay đổi khoảng cách nguyên tử cũng bé và khi khử ứng suất, lực hút hoặc đẩy sẽ đưa nguyên tử về vị trí cũ, tức là độ biến dạng sẽ mất đi. Nếu ứng suất pháp lớn làm cho sự thay đổi khoảng cách nguyên tử vượt quá giá trị cho phép thì sẽ xảy ra quá trình phá hủy. Như vậy, ứng suất pháp không làm cho tinh thể biến dạng dẻo mà chỉ có

biến dạng đàn hồi và sau đó phá hủy dòn, tức phá hủy không kèm theo biến dạng dẻo.

\* Khi ứng suất là ứng suất tiếp ( $\tau$ )



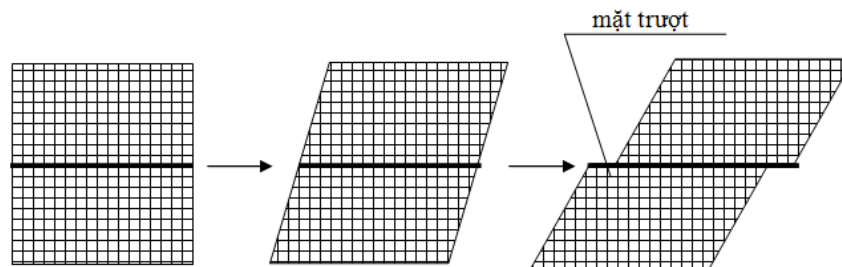
Hình 2.3. Sự thay đổi mạng tinh thể khi biến dạng

Khi ứng suất tiếp có trị số nhỏ, các lớp nguyên tử bị xô dịch đàn hồi một góc  $\gamma$  (hình b) và khi khử ứng suất, các nguyên tử trở lại vị trí cũ, do đó tinh thể trở lại với kích thước và hình dáng ban đầu. Khi ứng suất đủ lớn, ngoài sự xô dịch đàn hồi có thể xảy ra hiện tượng trượt (hình c) phần trên của tinh thể trượt khỏi phần dưới một đoạn bằng một khoảng cách nguyên tử. Mặt phẳng nơi xảy ra trượt gọi là mặt trượt. Khi trượt, nguyên tử phá vỡ mối liên kết với nguyên tử cũ xong, lại tại mối liên kết mới với nguyên tử mới nên mối liên kết giữa các nguyên tử không bị phá hủy. Kích thước và hình dáng của tinh thể thay đổi mà không bị phá hủy và như vậy đã xảy ra biến dạng dẻo. Vì vậy chỉ có ứng suất tiếp mới gây ra biến dạng dẻo.

### 2.1.3. Các cơ chế biến dạng dẻo

#### 2.1.3.1. Trượt

Là cơ chế biến dạng dẻo mà trong quá trình biến dạng một phần tinh thể trượt tương đối so với một mặt cố định gọi là mặt trượt. Trong mặt trượt theo các phương xác định gọi là phương trượt.



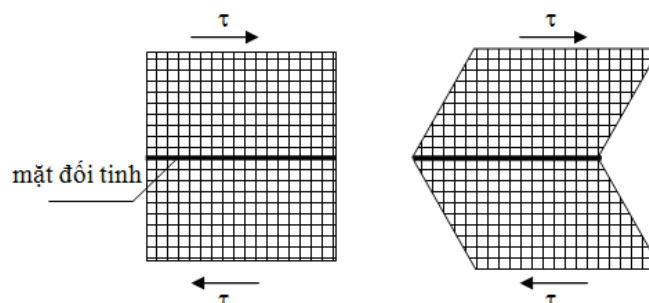
Hình 2.4. Quá trình trượt

- + Mặt trượt là mặt có mật độ mặt sít chặt  $M_s$  lớn nhất.
- + Phương trượt là phương có số nguyên tử lớn nhất

+ Hệ trượt là tích số giữa mặt trượt và phương trượt. Kiểu mạng nào có hệ trượt lớn thì khả năng biến dạng càng cao.

### 2.1.3.2. Song tinh

Song tinh là quá trình biến dạng dẻo mà các phần tinh thể dịch chuyển đối xứng nhau qua một mặt phẳng cố định gọi là mặt song tinh (đối tinh)



Hình 2.5. Song tinh (đối tinh)

Đặc điểm :

- + Giống như trượt, đối tinh cũng xảy ra theo những mặt và phương xác định.
- + Khi biến dạng, quá trình đối tinh bắt đầu khi ứng suất vượt quá trị số nhất định.
- + Đối tinh xảy ra đột ngột chứ không phải từ từ với tốc độ xác định như quá trình trượt. Vì vậy, nó có khả năng tiến hành dễ dàng trong điều kiện tải trọng nhanh.
- + Vì sự chuyển dịch của nguyên tử trên mỗi mặt phẳng xảy ra chỉ một lần trên khoảng cách ngắn nên độ biến dạng dư tạo ra khi đối tinh có trị số rất, bé nên những tinh thể khi biến dạng dẻo bằng đối tinh thì quá trình phá hủy là phá hủy giòn.
- + Đối tinh xảy ra thì nó có tác dụng làm cho quá trình trượt cũng xảy ra dễ dàng hơn.

### 2.1.3.3. Vai trò của mặt trượt và phương trượt trong biến dạng dẻo

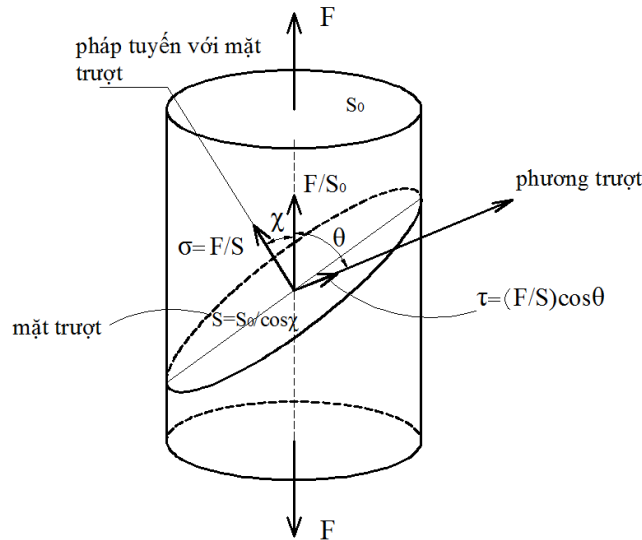
Khi kéo đơn tinh thể theo một trục như trên hình vẽ. Lực kéo  $F$  làm với pháp tuyến của mặt trượt đã cho một góc  $\chi$  và phương trượt đã cho một góc  $\theta$ . Nếu mặt cắt ngang của tinh thể có diện tích  $S_0$  thì mặt trượt có diện tích là  $S_0/\cos \chi$  và ứng suất tiếp trên phương trượt là:

$$\tau = \frac{F}{S} \cos \theta = \frac{F}{S_0} \cos \theta \cos \chi \quad (2.1)$$

Trong đó  $\sigma_0 = F/S_0$  là ứng suất do lực F tác dụng lên tiết diện ngang, nên

$$\tau = \sigma_0 \cos \theta \cos \chi \tag{2.2}$$

Khi  $\tau$  có độ lớn vượt quá một giá trị tới hạn nhất định  $\tau_{th}$  (phụ thuộc vào từng loại vật liệu) thì quá trình trượt mới xảy ra.



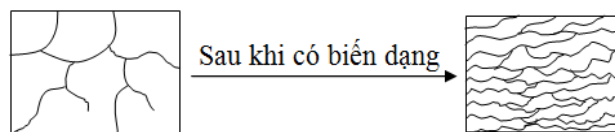
Hình 2.6. Trượt trong đơn tinh thể

Trường hợp  $\theta = 90^\circ$  hay  $\chi = 90^\circ$  tức ngoại lực song song với mặt trượt hay vuông góc với phương trượt thì  $\tau = 0$  lúc này tinh thể bị phá hủy mà không xảy ra biến dạng dẻo. Ứng suất đạt cực đại  $\tau_{max}$  khi  $\theta = \chi = 45^\circ$

**2.1.4. Sự thay đổi tổ chức và cấu trúc tinh thể sau biến dạng dẻo, các phương pháp nâng cao độ bền vật liệu**

2.1.4.1. Sự thay đổi tổ chức và cấu trúc của tinh thể

- + Tạo thành các tổ chức hạt nhỏ và có tính định hướng



Hình 2.7. Tổ chức sau biến dạng dẻo

- + Tạo thành thớ làm tăng tính dị hướng của vật liệu
- + Nâng cao mật độ lệch và khuyết tật trong tinh thể
- + Sự tạo thành Textua biến dạng đó là tổ chức sau biến dạng không đúng với góc của mặt trượt do bị hạn chế phương trượt hay còn gọi là hiện tượng quay mặt trượt.

+ Tạo thành ứng suất dư sau biến dạng dẻo nên tạo ra các trung tâm ứng suất dư do tăng mật độ khuyết tán.

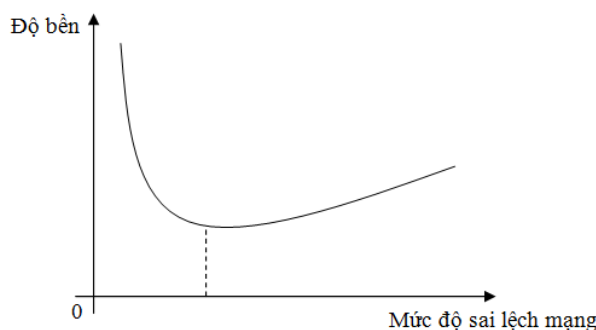
+ Tạo ra ứng suất dư thô đại tồn tại trong toàn bộ thể tích sau khi biến dạng

+ Tạo ra ứng suất dư tế vi tồn tại trong nội bộ một hạt tinh thể do đó tạo nên trung tâm gây ra các vết nứt đầu tiên làm phá hủy kim loại vì vậy sau biến dạng dẻo phải khử ứng suất dư.

+ Làm thay đổi cơ tính của kim loại mà điển hình làm tăng độ cứng, giới hạn đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn bền. Làm giảm độ dẻo, độ dai, va đập

+ Biến dạng dẻo làm tăng mức độ sai lệch mạng làm tăng ứng suất dư và độ hạt nhỏ vì vậy làm giảm tính dẫn điện, tính dẫn nhiệt.

#### 2.1.4.2. Các phương pháp nâng cao độ bền vật liệu



Hình 2.8. Sự phụ thuộc của giới hạn bền vào mật độ lệch

Do sự có mặt của sai lệch mạng nên chúng có độ bền thấp vì biến dạng dẻo gây ra chủ yếu là do chuyển động của lệch. Muốn có độ bền cao thì cần có biện pháp cản trở chuyển động của lệch tức là tạo ra các yếu tố hãm lệch.

+ Tăng mật độ lệch và phân bố đều trong thể tích. Mật độ lệch càng lớn, khoảng cách giữa chúng càng nhỏ, tương tác giữa chúng càng mạnh.

+ Tăng cường tác dụng hãm lệch của biên giới hạt và biên giới siêu hạt bằng cách tạo ra kim loại có hạt nhỏ về kích thước hạt siêu bé.

+ Tạo ra pha thứ 2 có độ bền cao hơn dưới dạng những hạt nhỏ phân tán.

+ Tạo ra sai lệch mạng bằng cách chuyển biến pha

#### 2.1.5. Đặc điểm biến dạng dẻo đa tinh thể

a) Do các hạt định hướng khác nhau : nên khi tác dụng tải trọng tĩnh lên đa tinh thể, các hạt sẽ bị biến dạng khác nhau : hạt nào có phương mạng định hướng thuận lợi cho trượt sẽ bị biến dạng dẻo trước với ứng suất tương đối bé, ngược lại hạt nào có



định hướng không thuận lợi cho trượt thì hoặc là sẽ bị biến dạng sau với ứng suất lớn hơn hoặc là không thể biến dạng được. Chính vì vậy giữa các hạt có độ biến dạng dư không đều.

b) Các hạt trong đa tinh thể không đứng độc lập mà gắn bó với nhau, do đó sự biến dạng dẻo của mỗi hạt luôn luôn ảnh hưởng đến hạt bên cạnh và bị chúng cản trở. Do vậy các hạt trong đa tinh thể có thể bị trượt ngay theo nhiều hệ trượt khác nhau và xảy ra đồng thời sự quay của các mặt và phương trượt.

c) Vùng biên giới hạt có sắp xếp không trật tự, do đó sự trượt rất khó phát triển ở đây, vì không hình thành được các mặt và phương trượt. Ngoài các yếu tố hãm lệch trong đơn tinh thể như đã nói ở trên, trong đa tinh thể biên giới hạt là một yếu tố hãm lệch rất có hiệu quả. Khi lệch chuyển dần đến gần biên giới nó bị dừng lại và do đó ở đây có mật độ lệch khá cao. Trong kim loại đa tinh thể, khó có thể trượt liên tục từ hạt này sang hạt khác, không những là do phương các hạt cạnh nhau định hướng khác nhau mà chủ yếu là còn do tác dụng cản trở của biên giới hạt.

Từ những đặc điểm và quy luật biến dạng dẻo đa tinh thể trình bày ở đây có thể rút ra kết luận là *làm nhỏ hạt kim loại không những làm tăng cả độ bền mà còn cả độ dẻo*. Hạt kim loại càng nhỏ, tức số hạt càng nhiều, tác dụng cản trượt của biên giới hạt càng nhiều, do đó muốn trượt được ứng suất phải tăng lên, độ bền tăng lên. Đồng thời khi số hạt tăng lên do hạt nhỏ đi, số hạt có phương mạng định hướng thích ứng với sự trượt tăng lên, số hạt chịu biến dạng dẻo sẽ nhiều hơn, do đó tổng biến dạng dư tăng lên, tức độ dẻo tăng thêm.

### 2.1.6. Nung kim loại sau biến dạng dẻo

#### 2.1.6.1. Mục đích

Kim loại sau biến dạng dẻo có mật độ khuyết tật tăng, ứng suất dư xuất hiện làm năng lượng tự do tăng lên. Vì vậy, kim loại sau khi biến dạng dẻo luôn có xu hướng trở về trạng thái ổn định với năng lượng bé. Muốn trở về trạng thái ổn định này cần phải cung cấp năng lượng cho hệ bằng cách nung trở lại kim loại đã qua biến dạng dẻo.

#### 2.1.6.2. Các giai đoạn xảy ra khi nung kim loại qua biến dạng dẻo

\* Giai đoạn hồi phục: là quá trình nung kim loại đã qua biến dạng dẻo vượt qua một nhiệt độ xác định tùy thuộc vào bản chất kim loại gọi là nhiệt độ hồi phục,  $T_{hp}^0 = 0,2T_{nóng\ chảy}^0$ .

Các hiện tượng xảy ra trong giai đoạn hồi phục là:

- Giảm ứng suất dư

- Quá trình đa canh hóa: là sự tập trung các lệch về những vị trí thẳng hàng trên các mặt tinh thể khác nhau.

- Sự thay đổi tính chất

Trong giai đoạn phục hồi, một số tính chất của kim loại cũng thay đổi cụ thể là làm tăng độ dẫn điện, cơ tính thay đổi không đáng kể, làm giảm độ bền, độ cứng một ít.

\* Kết tinh lại: là quá trình nung kim loại đã qua biến dạng dẻo vượt qua một nhiệt độ xác định gọi là nhiệt độ kết tinh lại.

$$T^0_{\text{kết tinh lại}} = (0,3 \div 0,4) T^0_{\text{nóng chảy}}$$

Các hiện tượng xảy ra của quá trình này:

- Sự tạo mầm kết tinh lại là quá trình tạo ra những hạt tinh thể mới mà những hạt này được phát triển từ những trung tâm ban đầu gọi là mầm. Thực nghiệm cho thấy, sự tạo mầm có các đặc điểm sau đây.

+ Mầm được tạo ra trước tiên ở những vùng có mức độ sai lệch mạng lớn như vùng tinh giới, vùng mặt trượt.

+ Mức độ biến dạng càng lớn mầm được tạo ra càng nhiều

Sự tạo mầm làm giảm năng lượng của hệ nên khử được ứng suất dư kể cả ứng suất dư thô đại. Bên cạnh đó, nó làm cho độ bền, độ cứng giảm đồng thời độ dẻo dai tăng lên. Sự tạo mầm ở trạng thái rắn nên có tổ chức hạt nhỏ. Sự lớn lên của mầm bằng cách sát nhập các hạt nhỏ vào hạt lớn và tạo sự ổn định về năng lượng.

- Nhiệt độ kết tinh lại

Đó là  $t^0$  nung tối thiểu mà ở đó quá trình kết tinh lại (tạo mầm và lớn lên của mầm) xảy ra với tốc độ đáng kể. Kết tinh lại có liên quan với sự dịch chuyển các nguyên tử trên những khoảng cách lớn do đó liên quan đến khả năng tự khuếch tán. Như vậy nhiệt độ kết tinh lại phụ thuộc vào bản chất kim loại, mức độ biến dạng, thời gian giữ nhiệt và tạp chất.

\* Sự thay đổi tính chất sau kết tinh lại

Trong giai đoạn kết tinh lại ứng suất dư, điện trở suất và năng lượng tự do tiếp tục giảm. Xu hướng chung là các tổ chức trở về trạng thái ban đầu khi chưa biến dạng.

Sự thay đổi quan trọng nhất về tính chất do kết tinh lại là cơ tính. Nếu biến dạng dẻo làm tăng độ bền, độ cứng, giảm độ dẻo thì kết tinh lại khử bỏ những ảnh hưởng đó tức làm giảm độ, độ cứng và tăng độ dẻo. Hay nói khác đi kết tinh lại có tác dụng "thải bền" ngược với tác dụng hóa bền của biến dạng dẻo.

- Khái niệm về gia công nóng và gia công nguội

Gia công nguội là hình thức biến dạng có kèm theo sự hóa bền và phải tiến hành ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ kết tinh lại.

Gia công nóng là hình thức gia công ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ kết tinh lại và có kèm theo sự thải bền.

Nhìn chung, gia công nóng được sử dụng rộng rãi vì có những ưu điểm chính sau:

+ Ít có khả năng nứt hỏng khi biến dạng, nhất là khi rèn, dập, cán vì khi biến dạng nóng kim loại hoặc ít không bị hóa bền. Thêm vào độ lệch dễ chuyển động hơn, trượt dễ hơn, lại có thêm những mặt trượt mới vv... tức tăng mạnh khả năng biến dạng dẻo của kim loại mà không sinh ra vết nứt.

+ Khi gia công nóng, kim loại có khả năng biến dạng lớn nên với lực tác dụng tương đối bé cũng có thể gây nên độ biến dạng cao. Điều này cho phép giảm công suất máy hoặc cùng công suất như nhau, gia công được những khối kim loại hoặc chi tiết lớn hơn. Đó là ưu điểm quan trọng cho phép chế tạo được những chi tiết lớn như rèn trục khuỷu, trục tuốcbin nặng hàng chục hoặc hàng trăm.

+ Nếu biến dạng nóng tiến hành ở nhiệt độ đủ cao và với tốc độ tương đối chậm thì không cần phải nung ( tức là ủ) trung gian giữa các lần biến dạng, điều thường phải làm khi biến dạng nguội. Ví dụ khi cán nguội, sau mỗi lần cán kim loại bị hóa bền nên muốn cán tiếp tục phải tiến hành ủ trung gian. Còn nếu cán nóng, có thể cán đi cán lại nhiều lần, không cần phải nung.

+ Có khả năng điều chỉnh độ hạt. Tổ chức hạt được tạo thành khi biến dạng nóng là kết quả của hai quá trình biến dạng dẻo và kết tinh lại, phụ thuộc vào các yếu tố như đã trình bày ở trên. Muốn nhận được độ hạt nhỏ, phải chú ý các điểm sau:

- Dựa vào giản đồ kết tinh lại chọn mức độ biến dạng để nhận được độ hạt nhỏ. Không nên biến dạng với mức độ thấp vì độ hạt lớn.

- Biến dạng phải tiến hành liên tục vì ở nhiệt độ quá trình lớn lên của hạt xảy ra rất nhanh, nếu để ngưng lâu trong một thời gian nào đó thì hạt kịp lớn lên và độ hạt lớn

- Nhiệt độ kết thúc biến dạng chỉ nên chọn cao hơn một ít so với nhiệt độ kết tinh lại vì nhiệt độ càng thấp, độ hạt càng nhỏ. Tuy nhiên đối với những kim loại kém dẻo, nhiệt độ kết thúc biến dạng phải chọn thế nào đó để kim loại không bị nứt vỡ.

Song gia công nóng cũng có những nhược sau:

+ Khó khống chế nhiệt độ trong phạm vi cho phép, nhất là đối với các vật phẩm có kích thước bé như là mỏng, sợi v.v... Muốn khống chế nhiệt độ phải có thiết bị đo và điều chỉnh chính xác, như vậy giá thành sẽ cao. Cũng vì thế, đối với mỗi kim loại người ta đề ra một kích thước tối hạn, nếu vật phẩm dày hơn - nên biến dạng nóng, mỏng hơn - biến dạng nguội.

+ Tổ chức và tính chất ít đồng nhất hơn so với biến dạng nguội nhất là đối với kim loại có chuyển biến thù hình và kích thước lớn.

Một loại khuyết tật bề mặt quan trọng khi biến dạng nóng là lớp oxyt trên bề mặt chi tiết đòi hỏi phải có những biện pháp khử bỏ tiếp theo sau như gia công cắt gọt, đánh bóng v.v....

+ Nhược điểm nữa của gia công nóng là khống chế kích thước và hình dáng vật phẩm vì thể tích kim loại nóng lớn hơn, khó tính toán lượng dư chính xác, nhất là trong trường hợp kim loại bị oxy hóa. Thêm vào đó khi làm nguội do ứng suất nhiệt, hình dáng kích thước có thể thay đổi.

## 2.2. Các đặc trưng cơ tính của vật liệu

### 2.2.1. Độ bền tĩnh và độ dẻo

#### 2.2.1.1. Nhóm đặc trưng cho độ bền

- Giới hạn đàn hồi  $\sigma_{dh}$  [KG/mm<sup>2</sup>]: là ứng suất tác dụng lớn nhất mà khi ngừng tác dụng tải trọng thì vật liệu không bị biến dạng hoặc biến dạng dẻo rất bé.

$$\sigma_{dh} = \frac{P_{dh}}{F} \quad [KG / mm^2] \quad (2.3)$$

Trong đó:

$P_{dh}$ : là lực sinh ra lớn nhất để vật liệu không bị biến dạng dẻo [KG]

F: là tiết diện ban đầu [mm<sup>2</sup>].

- Giới hạn chảy  $\sigma_{ch}$ ,  $\sigma_{0,2}$  [KG / mm<sup>2</sup>; MN / m<sup>2</sup>; MPa]: là giá trị ứng suất mà khi ứng suất gây ra do tải trọng tác động vượt quá nó thì vật liệu bắt đầu biến dạng dẻo.

$$\sigma_{ch} = \frac{P_{ch}}{F} \quad [KG / mm^2] \quad (2.4)$$

$P_{ch}$ : là tải trọng tác động tại thời điểm chảy [KG]

F: là tiết diện ban đầu [mm<sup>2</sup>].

- Giới hạn bền  $\sigma_B$  [KG / mm<sup>2</sup>, MN / m<sup>2</sup>, MPa): là giá trị ứng suất lớn nhất mà khi ứng suất gây ra do tác động của tải trọng vượt qua nó thì vật liệu bị phá hủy.

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \quad [\text{KG} / \text{mm}^2] \quad (2.5)$$

P: là tải trọng tác động tại thời điểm phá hủy [KG]

F: là tiết diện của mẫu thử [mm<sup>2</sup>].

### 2.2.1.2. Nhóm đặc trưng cho độ dẻo

- Độ giãn dài tương đối của vật liệu  $\delta$  (%):  $\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%$  (2.6)

l: chiều dài của mẫu sau khi kéo

$l_0$ : chiều dài ban đầu của mẫu

Độ giãn dài tương đối đặc trưng cho tính dẻo của vật liệu.

- Độ thắt tỉ đối  $\psi$  (%):  $\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100\%$  (2.7)

$F_0$ : là tiết diện ban đầu của mẫu

F: là tiết diện mẫu tại vị trí bị kéo đứt

### 2.2.2. Chỉ tiêu cơ tính dưới tác dụng của tải trọng tĩnh mà không phá hủy mẫu

Độ cứng là khả năng chống lại biến dạng dẻo của vật liệu khi chịu tác động của tải trọng thông qua một vật cứng tác động lên vật liệu.

#### 2.2.2.1. Độ cứng Brinell (HB)

Mũi đâm: viên bi bằng thép đã được tôi cứng, đường kính tiêu chuẩn của viên bi  $d = 10\text{mm}$

$$\text{HB} = \frac{P}{F} (\text{KG} / \text{mm}^2) \quad (2.8)$$

F: diện tích vết lõm do viên bi gây ra trên bề mặt vật liệu thử

Phạm vi ứng dụng: vật liệu mềm (thép sau ủ, hợp kim đồng, nhôm)

#### 2.2.2.2. Độ cứng Rôcvel (HR)

Có 3 thang A, B, C là HRA, HRB, HRC

$$\text{HRA} = k - e \quad (2.9)$$

-trong đó: k-hệ số, k=100 với các thang đo A, C dùng mũi nón có góc ở đỉnh  $120^\circ$  và được làm bằng kim cương, k=130 cho thang đo B-dùng mũi thép

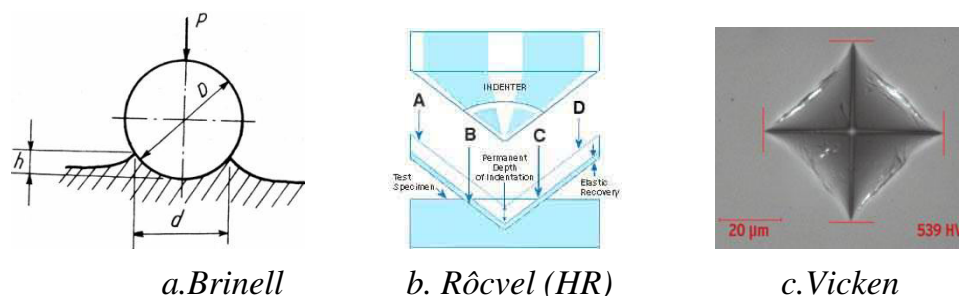
-  $e=h/0,002$ , h tính theo mm (chiều sâu e được tính bằng đồng hồ so)

\* Độ cứng HRA, HRC được đo bằng mũi hình nón kim cương, có thể đo vật liệu: thép tôi, lớp hóa-nhiệt luyện. Độ cứng HRC được dùng phổ biến nhất cho thép sau khi tôi, tôi+ram, thấm cacbon còn HRA cho thép thấm mỏng như nitơ, cacbon-nitơ...

\* Độ cứng HRB

+ Mũi đâm: viên bi thép tôi có đường kính  $d = 1/16$  inch

+ Phạm vi áp dụng: đo tương tự như HB nhưng áp dụng đo độ cứng cho thép ủ, thường hóa, gang đúc...



Hình 2.9. Các phương pháp đo độ cứng

### 2.2.2.3. Độ cứng Vicke(HV)

+ Mũi đâm làm bằng kim cương có dạng hình chóp và góc ở đỉnh là  $136^\circ$

+ Phạm vi áp dụng: Đo vật liệu có độ cứng cao nhưng mỏng

$$HV = \frac{P}{F} \quad (\text{KG/mm}^2) \quad (2.10)$$

F: diện tích vết lõm ( $\text{mm}^2$ )

### 2.2.3. Chỉ tiêu cơ tính dưới tác dụng của tải trọng động

Tải trọng động là tải trọng tác động lên vật liệu dưới dạng các xung lực hay va đập.

Chỉ tiêu đặc trưng: độ dai va đập  $a_k$  ( $\text{KG.m/cm}^2$ ;  $\text{kJ/cm}^2$ )

Độ dai va đập là công tiêu phí để phá hủy mẫu có vết khía chia cho diện tích của tiết diện ngang ở chỗ có vết khía.

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{KG.m/cm}^2) \quad (2.11)$$

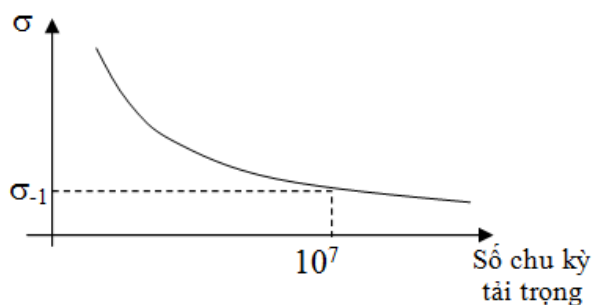
### 2.2.4. Độ bền của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ (giới hạn bền mỏi)

Phá hủy mỏi là dạng phá hủy xảy ra khi kim loại chịu tải tác dụng của tải trọng thay đổi theo chu kỳ theo một quy luật bất kỳ nào đó. Hiện tượng mỏi của vật liệu mà hậu quả của nó là phá hủy mỏi được hết sức chú ý khi thiết kế các chi tiết máy. Phá hủy mỏi có các đặc điểm sau:

+ Khả năng phá hủy mỏi không phụ thuộc vào thời gian mà thông qua số lượng chu kỳ đặt tải trọng.

+ Nếu ứng suất thực tế bé hơn một giá trị xác định thì phá hủy mỏi không bao giờ xảy ra dù số lượng chu kỳ là rất lớn. Giá trị ứng suất này gọi là giới hạn mỏi  $\sigma_{-1}$ ;  $\sigma_r$  ( $\text{kG/mm}^2$ )

Cách xác định giới hạn mỏi bằng cách xây dựng đường cong mỏi



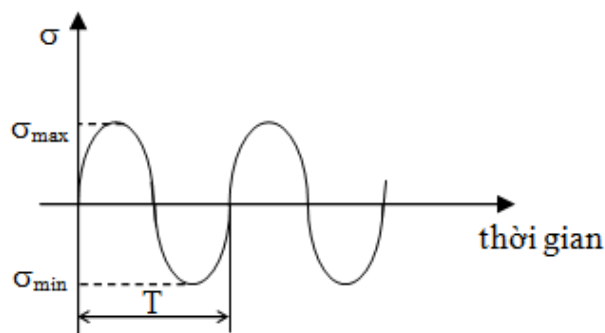
Hình 2.10. Đường cong mỏi

Như vậy, giới hạn bền mỏi là giá trị ứng suất mà khi số chu kỳ tải trọng lớn hơn  $10^7$  mẫu mới bị phá hủy.

+ Giới hạn mỏi phụ thuộc vào bản chất của vật liệu và hệ số bất đối xứng tải trọng đặc trưng cho chu kỳ

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad r = -1 \text{ chu kỳ đối xứng} \quad (2.12)$$

+ Phá hủy mỏi thường bị ảnh hưởng bởi các yếu tố gây ra sự tập trung ứng suất



Hình 2.11. Chu kỳ ứng suất

## Chương 3. SỰ KẾT TINH VÀ CHUYỂN PHA

Phần lớn các kim loại hay hợp kim được chế tạo (luyện) ra ở trạng thái lỏng rồi làm nguội trong các khuôn đúc, tức là qua kết tinh sau đó mới qua các dạng gia công khác nhau. Như vậy kết tinh được coi là bước khởi tạo của sự hình thành tổ chức: các hạt với cấu trúc tinh thể. Nghiên cứu quá trình kết tinh và chuyển pha sẽ làm sáng tỏ các quy luật chi phối sự tạo thành hạt nhờ đó có thể tìm ra các biện pháp nhận được độ hạt theo ý muốn, nâng cao chất lượng vật liệu. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Điều kiện kết tinh và quá trình tạo mầm của kim loại lỏng.
- + Giải thích tác dụng của kích thước hạt và các yếu tố ảnh hưởng đến độ hạt khi kết tinh. Đây là cơ sở cho quá trình xử lý khi đúc kim loại.
- + Các khuyết tật có thể xảy ra khi đúc kim loại và biện pháp phòng tránh.

### 3.1. Cấu tạo kim loại lỏng và điều kiện năng lượng của quá trình kết tinh

#### 3.1.1. Cấu tạo kim loại lỏng

Chất lỏng chỉ có trật tự gần, trong đó có những nhóm nguyên tử sắp xếp trật tự, chúng ở trạng thái cân bằng động. Về mặt cấu trúc trạng thái lỏng gần trạng thái tinh thể hơn, các đám nguyên tử là tâm mầm giúp cho kết tinh

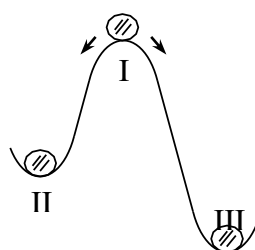
#### 3.1.2. Điều kiện năng lượng của quá trình kết tinh

Chúng ta đều biết, mọi hệ vật lý đều có xu hướng tồn tại ở trạng thái có mức năng lượng tự do thấp, điều này có thể thấy qua một ví dụ với một hệ cơ học đơn giản như sau (hình 3.1).

Viên bi có thể có ba vị trí tồn tại (I, II, III) và năng lượng tự do của nó là thế năng của viên bi, như vậy tại vị trí I (không ổn định), viên bi sẽ có năng lượng tự do là lớn nhất, sẽ dễ dàng mất ổn định về hai vị trí II và III và gọi là trạng thái không ổn định. Tại vị trí III (ổn định), viên bi sẽ có năng lượng tự do là nhỏ nhất, nó có mức độ ổn định cao (cần năng lượng rất lớn để phá vỡ sự cân bằng). Còn vị trí II (giả ổn định) là ổn định hơn vị trí I, nhưng kém ổn định hơn vị trí III. Như vậy xu hướng của nó là chuyển sang trạng thái ổn định III, nhưng khi đó cần phải cấp cho nó một năng lượng đủ lớn để vượt qua trạng thái không ổn định. Năng lượng cần để cấp cho hệ trở về



trạng thái ổn định gọi là hàng rào năng lượng.



I: Trạng thái không ổn định  
 II: Trạng thái giả ổn định  
 III: Trạng thái ổn định

Hình 3.1. Các trạng thái ổn định của hệ cơ học

Với quá trình kết tinh, hầu hết sự kết tinh kim loại lỏng là trong môi trường áp suất khí quyển và có thể coi là quá trình đẳng áp.

Năng lượng tự do đẳng áp của hệ (năng lượng Gibbs) được tính bằng biểu thức:

$$G = H - T.S \tag{3.1}$$

Trong đó:

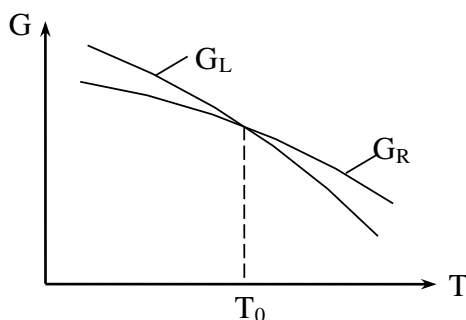
G: Năng lượng tự do đẳng áp của hệ;

T: Nhiệt độ ( $^{\circ}\text{K}$ )

H: Entanpi (nhiệt hàm) của hệ;

S: Entropi của hệ.

Với các kim loại ta có đồ thị thay đổi năng lượng tự do của hai pha lỏng và pha rắn



Hình 3.2. Đồ thị thay đổi năng lượng tự do của kim loại lỏng và rắn theo nhiệt độ

Từ đồ thị này chúng ta thấy rằng: Khi nhiệt độ của hệ nhỏ hơn nhiệt độ  $T_0$ , lúc đó năng lượng tự do của pha rắn nhỏ hơn của pha lỏng, vì vậy trạng thái rắn sẽ là ổn định và kim loại sẽ tồn tại ở trạng thái rắn. Ngược lại khi nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ  $T_0$ , năng lượng tự do của pha lỏng sẽ nhỏ hơn của pha rắn và do đó trạng thái lỏng trở nên ổn định hơn, kim loại sẽ tồn tại ở trạng thái lỏng.

Nhiệt độ  $T_0$  gọi là nhiệt độ kết tinh lý thuyết của kim loại, tại nhiệt độ này tồn tại trạng thái cân bằng động giữa pha lỏng và pha rắn, chưa xảy ra quá trình kết tinh. Như vậy, muốn quá trình kết tinh kim loại lỏng xảy ra ta phải có điều kiện:

$$\Delta G = G_{\text{rắn}} - G_{\text{lỏng}} < 0 \quad (3.2)$$

Tức là nhiệt độ thực tế của hệ  $T_k$  phải thoả mãn:

$$\Delta T = T_0 - T_k > 0 \quad (3.3)$$

Giá trị  $\Delta T$  gọi là độ quá nguội khi kết tinh. Và như vậy điều kiện kết tinh xảy ra chỉ khi  $\Delta T > 0$ . Ta thấy về mặt năng lượng, quá trình kết tinh kim loại lỏng sẽ xảy ra khi tồn tại độ quá nguội  $\Delta T > 0$ , song sự kết tinh xảy ra theo các giai đoạn thế nào, điều này sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.

### 3.2. Quá trình tạo mầm và phát triển mầm

#### 3.2.1. Quá trình tạo mầm

Ban đầu trong lòng kim loại lỏng có sự xuất hiện ra những phần tử rắn đầu tiên, mà không bị hoà tan trở lại kim loại lỏng. Người ta gọi đó là quá trình tạo mầm, quá trình tạo mầm có hai dạng cơ bản khác nhau là tạo mầm tự sinh (đồng pha) hoặc tạo mầm ký sinh (không đồng pha).

##### 3.2.1.1. Tạo mầm tự sinh

Mầm tự sinh là những mầm được tạo ra từ bản thân kim loại lỏng, không chịu sự tác động của các yếu tố bên ngoài. *Quá trình tạo mầm tự sinh xảy ra khi một nhóm nguyên tử có trật tự, cố định lại tạo cấu tạo mạng tinh thể cùng kiểu với mạng tinh thể kim loại đó.* Khi trong lòng kim loại lỏng có sự xuất hiện một phần tử rắn ta thấy hệ có hai sự thay đổi năng lượng ngược chiều nhau là:

- Sự giảm năng lượng khi một thể tích pha lỏng chuyển sang trạng thái rắn (*do khi kết tinh ở nhiệt độ nhỏ hơn  $T_0$ , lúc này năng lượng tự do của pha rắn nhỏ hơn pha lỏng*).

- Khi pha rắn tạo ra, xuất hiện một bề mặt pha mới và có năng lượng bề mặt, dẫn đến làm tăng năng lượng của hệ.

##### 3.2.1.2. Tạo mầm ký sinh

Mầm ký sinh là những mầm được tạo ra trên cơ sở các “hạt rắn có sẵn” trong kim loại lỏng. Khái niệm về “hạt rắn có sẵn” gồm các yếu tố cơ bản sau:

- Thành khuôn chứa kim loại lỏng khi kết tinh.
- Các tạp chất khó chảy lẫn trong kim loại lỏng (ví dụ:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , ... lẫn trong kim loại lỏng).

Với sự xuất hiện của các hạt rắn có sẵn, sự thay đổi năng lượng tự do khi tạo

mầm trong trường hợp này có các đặc điểm riêng của mình.

### 3.2.2. Quá trình phát triển mầm

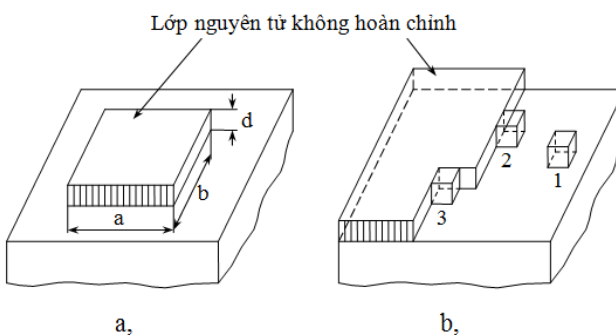
*Các mầm (trung tâm) kết tinh có bán kính lớn hơn giá trị tới hạn, sau khi tạo ra sẽ tiếp tục phát triển, tạo thành các hạt, tinh thể bằng cách gắn thêm các nguyên tử hoặc nhóm nguyên tử lên bề mặt mầm theo các trật tự xác định. Khi mầm lớn lên nó phải có dạng hình khối phù hợp với cấu tạo tinh thể của nó và do đó ở đây chúng ta xét cơ chế lớn lên của mầm là theo các mặt tinh thể của nó.*

Có hai lý thuyết về quá trình lớn lên của mầm là: cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh và mầm lớn lên theo bề mặt lệch xoắn. Sau đây ta lần lượt nghiên cứu về hai cơ chế này.

#### 3.2.2.1. Cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh

Lớp nguyên tử không hoàn chỉnh là các phần có cấu tạo tinh thể xuất hiện và mất đi trong kim loại lỏng ở gần nhiệt độ kết tinh.

Xét trên bề mặt pha rắn, đầu tiên lớp nguyên tử không hoàn chỉnh có sắp xếp trật tự với kích thước  $a \times b$  và chiều cao bằng một đường kính nguyên tử gắn lên bề mặt pha rắn (hình a). Tiếp theo đó, những nguyên tử riêng biệt từ pha lỏng điền dần vào để đạt được lớp nguyên tử hoàn chỉnh (hình b). Sau đó lại một lớp nguyên tử không hoàn chỉnh khác gắn vào và quá trình lớn lên của mầm cứ tiếp tục theo đó.



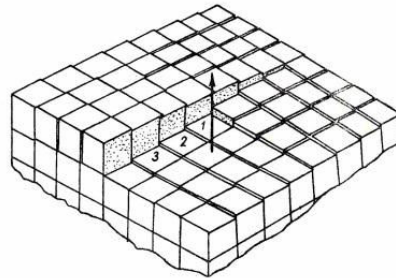
*Hình 3.3. Mô hình cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh*

Các khối lập phương biểu diễn các nguyên tử, chúng có thể gắn vào tinh thể theo các vị trí 1, 2, 3 trong đó vị trí 3 là ổn định nhất vì nó cho phép nguyên tử tiếp xúc với tinh thể theo ba mặt, vị trí 2 kém ổn định hơn và vị trí 1 là bất lợi nhất vì nguyên tử chỉ tiếp xúc với tinh thể theo hai và một mặt.

#### 3.2.2.2. Mầm tạo ra theo cơ chế dựa vào lệch xoắn

Ở pha rắn luôn tồn tại lệch có chứa lệch xoắn. Vì tinh thể có chứa lệch xoắn nên bề mặt trục giao với trục của lệch có dạng xoắn, trên nó đã có sẵn những bậc cấp đóng vai trò như lớp nguyên tử không hoàn chỉnh. Tinh thể lớn lên bằng cách các nguyên tử bám vào bề mặt ở những nơi có bậc cấp như hình vẽ.

Cả hai cơ chế lớn lên của mầm đều có những giá trị riêng của mình và nói lên hai khả năng thực tế của sự phát triển tinh thể. Điểm giống nhau của chúng là trên bề mặt tinh thể đang lớn lên phải có những bậc cấp để nguyên tử từ pha lỏng gắn vào. Đó cũng là hai khả năng thực tế trong quá trình kết tinh.

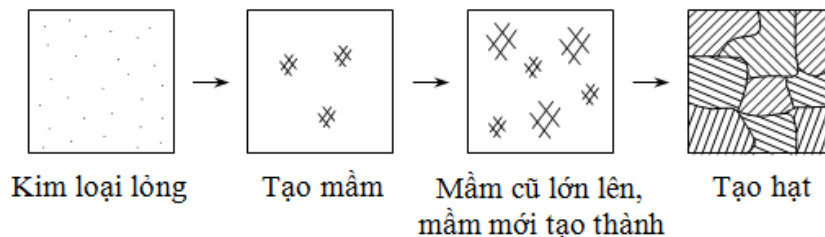


Hình 3.4. Mô hình mầm tạo ra theo cơ chế dựa vào lệch xoắn

### 3.3. Khái niệm độ hạt khi kết tinh, ý nghĩa của độ hạt

#### 3.3.1. Khái niệm độ hạt

Quá trình hình thành hạt:



Hình 3.5. Quá trình hình thành hạt

Độ hạt kim loại sau kết tinh là kích thước trung bình của các hạt tinh thể trong thể tích kim loại rắn. Các hạt tạo ra có kích thước không đồng nhất, vì vậy phải lấy giá trị trung bình gọi là độ hạt.

Để đơn giản, ta xác định độ hạt bằng cách đếm số hạt trên một đơn vị diện tích.

#### 3.3.2. Ý nghĩa của độ hạt

Độ hạt quyết định cơ tính của vật liệu. Độ hạt càng nhỏ, cơ tính càng cao. Do đó trong sản xuất kim loại luôn mong muốn tạo được hạt nhỏ.

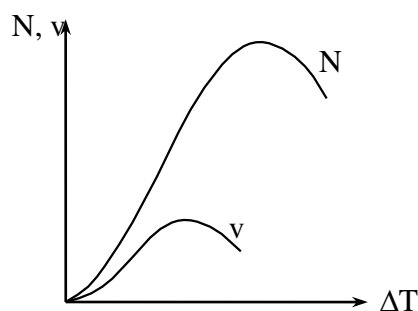
### 3.3.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ hạt (A)

- Tốc độ nguội:

$$A = k_1 \sqrt{\frac{v}{N}} \quad - \text{Kích thước trung bình của hạt} \quad (3.4)$$

Trong đó:  $k_1, k_2$  là hằng số.

Như vậy, muốn thu được hạt nhỏ thì phải tăng tốc độ tạo mầm  $N$  và giảm tốc độ lớn lên của mầm  $v$ .



Hình 3.6. Sự thay đổi của  $N$  và  $v$  theo  $\Delta T$

Trong thực tế, khi  $N$  tăng thì  $v$  cũng tăng (với  $\Delta T$  tăng), nhưng do  $N$  tăng mạnh hơn  $v$ . Vì vậy muốn hạt nhỏ phải tăng độ quá nguội  $\Delta T$ , tức là tăng tốc độ làm nguội.

- Tăng cường quá trình tạo mầm kí sinh bằng cách đưa vào kim loại lỏng các tạp chất khó chảy: phương pháp biến tính kim loại.

- Dùng dao động cơ học.

- Dùng sóng siêu âm.

### 3.3.4. Cách xác định độ hạt trong thực tế

Xác định các bảng cấp hạt theo tiêu chuẩn: từ cấp (-3 ÷ 12). Chỉ số càng tăng thì độ hạt càng nhỏ. Làm tiêu bản ở mức phóng đại 100 lần. Các mẫu thực tế tiến hành chụp ảnh với độ phóng đại 100 lần, rồi đem so với tiêu bản ta được cấp hạt thực tế.

Các dạng hạt thường gặp:

- Hạt đều trực: có tiết diện gần với hình tròn.

- Hạt kéo dài: dạng tinh thể hình trụ.

Cấp: (-3 ÷ 0): hạt thô

(1 ÷ 8): hạt vừa

(9 ÷ 12): hạt mịn

Phạm vi ứng dụng:

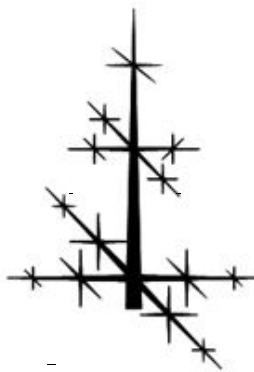
- + Hạt thô: Dùng trong công nghệ chế tạo phôi
- + Chi tiết máy thông thường dùng cỡ hạt từ 1 ÷ 8
- + Chi tiết máy yêu cầu đặc biệt dùng cỡ hạt từ 9 ÷ 12

### 3.4. Quá trình kết tinh thực tế của kim loại trong khuôn đúc

#### 3.4.1. Cơ chế kết tinh nhánh cây

- Cơ chế: quá trình kết tinh không xảy ra đều theo mọi phương mà nó phát triển theo một số phương ưu tiên nhất định, tạo thành dạng nhánh cây.

- Mô hình: Trong thể tích kim loại lỏng ban đầu sẽ kết tinh theo những hướng ưu tiên tạo thành một trục chính, từ trục chính tiếp tục phát triển theo hướng kết tinh phụ và hướng nhỏ.



Hình 3.7. Mô hình kết tinh nhánh cây

#### 3.4.2. Cấu tạo của thỏi đúc thực tế

- Điều kiện khuôn và làm nguội:

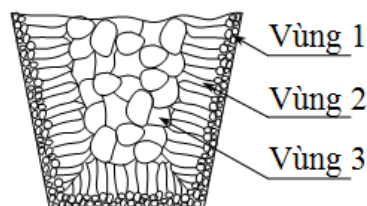
- + Khuôn kim loại
- + Làm nguội trong không khí tĩnh để tạo ra độ quá nguội  $\Delta T$  ổn định.

- Cấu tạo thỏi đúc: bao gồm 3 vùng

+ Vùng 1: Là vùng sát với thành khuôn, tốc độ nguội lớn, độ quá nguội  $\Delta T$  tăng do đó  $N$  và  $v$  tăng nên  $r_{th}$  nhỏ, số lượng mầm tạo ra nhiều. Toàn bộ nhấp nhô thành khuôn thì tham gia tạo mầm ký sinh,  $N$  rất lớn vì vậy hạt nhỏ.

+ Vùng 2: Tiếp theo thành khuôn nóng lên, tốc độ nguội giảm, độ quá nguội  $\Delta T$  giảm,  $N$  và  $v$  giảm, hạt có kích thước lớn và bị kéo dài theo phương truyền nhiệt (vuông góc với thành khuôn).

+ Vùng 3: Do trường nhiệt độ đồng đều, tốc độ nguội giảm rất mạnh, có tính đẳng hướng, vì vậy tạo hạt có kích thước lớn dạng đa diện.



Hình 3.8. Cấu tạo của thỏi đúc

Trên cơ sở phân tích cấu tạo của thỏi đúc, ta thấy muốn thu được tổ chức hoàn toàn nhỏ mịn thì cần liên tục duy trì  $\Delta T$  lớn bằng cách làm mát liên tục cho khuôn. Nếu luôn duy trì phương truyền nhiệt ưu tiên sẽ không tạo tổ chức hạt thô mà tạo tổ chức xuyên tinh.

Khi tốc độ làm nguội nhỏ sẽ không có khả năng ưu tiên phương truyền nhiệt nên không tạo tổ chức xuyên tinh mà tạo ra tổ chức hạt thô.

### 3.4.3. Khuyết tật của thỏi đúc

- Khái niệm: Khuyết tật là các dạng tổ chức, cấu trúc không đúng theo ý muốn ban đầu của người sản xuất.

- Các dạng khuyết tật của thỏi đúc là: Lỗm co, rỗ co, rỗ khí và thiên tích.

#### 3.4.3.1. Lỗm co

- Khái niệm: Lỗm co là hiện tượng giảm thể tích của vật đúc so với thể tích kim loại lỏng ban đầu và được tập trung tại một vị trí.

- Nguyên nhân: Do độ giãn nở nhiệt và cấu trúc tinh thể ở hai trạng thái lỏng và rắn là khác nhau.

- Tác hại: Tạo phế phẩm vật đúc.

- Khắc phục: Dùng các hệ thống bù, co ngót.

Tùy thuộc vào bản chất kim loại mà độ co có thể lớn hoặc bé. Lỗm co thường xuất hiện ở vùng kết tinh sau cùng phụ thuộc vào phương pháp làm nguội mà có các dạng lỗm co khác nhau.

#### 3.4.3.2. Rỗ co

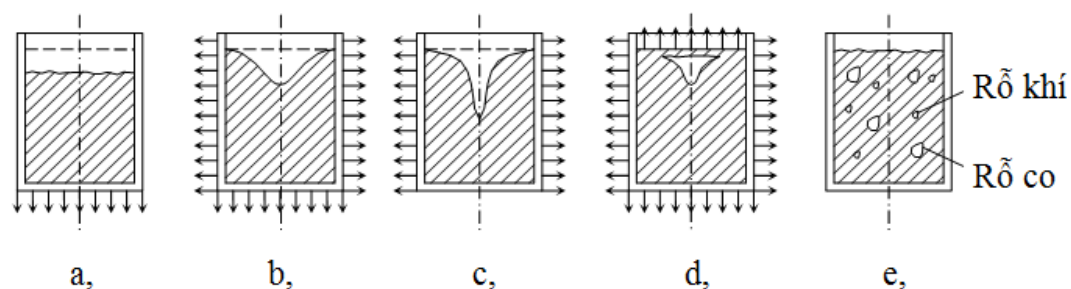
- Khái niệm: Rỗ co là hiện tượng mà lỗm co đi vào bên trong vật đúc dưới dạng các lỗ nhỏ.

- Nguyên nhân: Chủ yếu do quá trình làm nguội.

- Tác hại: Làm mất tính liên tục của vật liệu, giảm cơ tính vật đúc.

### 3.4.3.3. Rỗ khí

- Khái niệm: Rỗ khí là hiện tượng tồn tại các bọt khí trong vật đúc
- Nguyên nhân: Do sự hòa tan khí của kim loại lỏng.
- Tác hại: Làm mất tính liên tục của vật đúc và tạo các vùng tập trung ứng suất, làm cho cơ tính của vật đúc giảm rất mạnh.
- Khắc phục: Tăng cường quá trình thoát khí khi kết tinh bằng cách tạo ra sự lưu động của kim loại lỏng và bề nầu phải được sấy khô trước khi nấu luyện.



Hình 3.9. Các dạng khuyết tật của thổi đúc

### 3.4.3.4. Thiên tích

- Khái niệm: Thiên tích là sự không đồng nhất về thành phần hóa học giữa các vùng trong vật đúc. Có hai loại thiên tích là thiên tích vùng và thiên tích hạt.
- Thiên tích vùng: là sự không đồng nhất về thành phần hóa học trong toàn bộ thể tích vật đúc.
- Thiên tích hạt: là sự không đồng nhất về thành phần hóa học trong nội bộ hạt kim loại.
- Nguyên nhân: Do sự khác nhau về nhiệt độ nóng chảy, khối lượng riêng và hệ số khuếch tán của các nguyên tố.
- Tác hại: Tạo ra các vùng không đồng đều về cơ tính, làm giảm độ tin cậy của sản phẩm đặc biệt là các vật đúc có kích thước lớn.
- Cách khắc phục: Lựa chọn hợp lý các nguyên tố khi tạo hợp kim. Với thiên tích hạt có thể ủ vật đúc để đồng đều hóa thành phần (ủ khuếch tán).

Cố gắng dùng các biện pháp công nghệ tạo sự đồng đều khi kết tinh để tránh thiên tích vùng.



## Chương 4. CẤU TẠO HỢP KIM VÀ GIẢN ĐỒ TRẠNG THÁI

Trong thực tế, đặc biệt là trong cơ khí, người ta không sử dụng kim loại nguyên chất, nguyên tố hóa học và hợp chất hóa học mà thường là tổ hợp các chất cơ bản trên. Khi hòa trộn các nguyên tố, hợp chất hóa học với nhau bằng cách nấu chảy lỏng chúng, trong quá trình nguội tiếp theo các chất có tương với nhau tạo nên cấu trúc mới và do đó tính chất khác đi, vật liệu trở nên đa dạng hơn thích ứng hơn trong sử dụng. Trong chương này giải quyết vấn đề cho hệ hợp kim và các nguyên lý, giản đồ trạng thái của các hợp kim. Làm cơ sở cho việc lựa chọn các yếu tố nhiệt luyện sau này. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Khái niệm và đặc điểm của hợp kim.
- + Quy tắc tính bậc tự do và ứng dụng tính toán trong một hợp kim cụ thể.
- + Khái niệm dung dịch rắn và đặc tính của chúng.
- + Khái niệm, ý nghĩa giản đồ trạng thái và đặc trưng của các giản đồ trạng thái hợp kim điển hình.
- + Vẽ được giản đồ trạng thái Fe-C, nêu được các tổ chức một pha và hai pha trong giản đồ.
- + Khái niệm về thép và gang và các đường chuyển hóa tổ chức trên giản đồ.

### 4.1. Các khái niệm cơ bản

#### 4.1.1. Khái niệm hợp kim

Hợp kim là hỗn hợp đồng nhất về mặt tổ chức của từ hai nguyên tố trở lên trong đó có ít nhất một nguyên tố là kim loại và nguyên tố kim loại đóng vai trò chính tức là có hàm lượng lớn nhất, tính chất của nó thể hiện rõ rệt nhất.

Ví dụ: - Thép các bon là hợp kim của nguyên tố kim loại và phi kim loại (Fe + C)

- La tông là hợp kim của hai nguyên tố kim loại (Cu + Zn)

#### 4.1.2. Đặc điểm của hợp kim

- So với kim loại nguyên chất, hợp kim dễ sản xuất, tính chất tốt hơn.
- Hợp kim có tính công nghệ cao hơn so với kim loại nguyên chất và được thể hiện ở:

+Tính dẻo: Khi sử dụng hợp kim cho tính dẻo cao, do đó khả năng biến dạng dẻo tốt, dễ dàng cho việc gia công áp lực.

+Tính đúc: Khi sử dụng các hợp kim có thể thu được điều kiện nóng chảy thấp hơn kim loại nguyên chất, do đó tính chảy loãng cao nên có thể điền đầy các lòng khuôn phức tạp.

+Tính cắt gọt tốt hơn. Chính vì thế trong thực tế hầu như chỉ sử dụng hợp kim.

#### 4.1.3. Các định nghĩa cơ bản về hợp kim

- **Pha (F)**: là cấu phần đồng nhất của hợp kim cùng tổ chức và cùng trạng thái (khi ở trạng thái rắn phải có cùng kiểu mạng và thông số mạng), được ngăn cách bằng một bề mặt phân pha đủ lớn.

- **Hệ**: là tập hợp các pha ở trạng thái cân bằng (các pha tồn tại ổn định trong một điều kiện bên ngoài xác định).

- **Hệ cân bằng**: hệ được coi là hệ cân bằng khi các quá trình xảy ra trong hệ có tính thuận nghịch.

- **Cấu tử (nguyên) (N)**: là những cấu phần độc lập của hệ (có thể là đơn chất hoặc hợp chất) có thành phần hóa học ổn định mà nó có nhiệm vụ cấu tạo nên tất cả các pha của hệ.

- **Bậc tự do của hệ (T)**: là số các yếu tố bên ngoài ( $P, T^0$ ) hoặc bên trong (thành phần) có thể thay đổi được mà hệ không bị thay đổi trạng thái.

Quy tắc pha (Gibbs) để tính bậc tự do:  $T = N - F + 2$

Trong đó:

N: là số cấu tử cấu tạo nên hệ

F: là số pha của hệ tại điểm tính bậc tự do

2: là số yếu tố bên ngoài ( $P, T^0$ )

Trong thực tế, coi  $P = \text{const}$  nên:  $T = N - F + 1$  (công thức Gibbs).

Ý nghĩa của bậc tự do: giúp chúng ta biết được trạng thái của hệ. Khi  $T = 0$  thì hệ sẽ suy biến thành một điểm.

+ Nếu  $T = 0$  tức là  $F = N + 1$  khi đó hệ là vô biến, hay không có yếu tố nào (nhiệt độ hay thành phần) có thể thay đổi được.

*Ví dụ 4.1: kim loại nguyên chất ( $N = 1$ ) khi nóng chảy hay kết tinh sẽ tồn tại 2 pha ( $F = 2$  nên  $T = 0$ ), điều này chứng tỏ kim loại nguyên chất nóng chảy sau kết tinh ở nhiệt độ không đổi (vì trong hệ một nguyên không có biến số về thành phần hóa học).*

+ Nếu  $T = 1$  tức là  $F = N$  hệ là đơn biến tức là chỉ có một yếu tố (hoặc nhiệt độ hoặc là thành phần) có thể thay đổi được.

Ví dụ 4.2: hợp kim Cu - Ni khi nung nóng sẽ biến thành dung dịch lỏng, vì vậy số pha  $F = 2$  nên  $T = 1$  do  $N = 2$ , điều này chứng tỏ quá trình nóng chảy của hợp kim Cu - Ni xảy ra trong một khoảng nhiệt độ hoặc là tại một nhiệt độ nào đấy trong quá trình nóng chảy ta có thêm vào một ít Cu (hoặc Ni) mà vẫn không làm thay đổi số pha của hệ.

+ Nếu  $T = 2$  tức là  $F = N - 1$  hệ là nhị biến tức là cùng một lúc có thể thay đổi cả 2 yếu tố nhiệt độ và thành phần.

Ví dụ 4.3: phần lớn các hợp kim 2 nguyên ở trạng thái lỏng đều hòa tan vô hạn vào nhau nên chỉ có tổ chức một pha là dung dịch lỏng, điều này chứng tỏ ở trạng thái lỏng ta có thể thay đổi thành phần hoặc nhiệt độ khá dễ dàng mà hợp kim vẫn chỉ có tổ chức một pha.

## 4.2. Các dạng cấu trúc hợp kim cơ bản

### 4.2.1. Dung dịch rắn

#### 4.2.1.1. Khái niệm

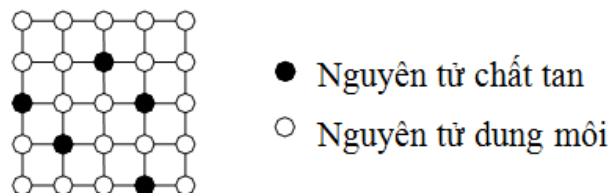
Dung dịch rắn là một dạng cấu trúc hợp kim tạo bởi hai nguyên, trong đó một nguyên bảo tồn được kiểu mạng gọi là dung môi, nguyên thứ hai hòa tan vào trong kiểu mạng đó gọi là chất tan.

Với thực tế, có thể có dung dịch rắn có nhiều chất tan.

#### 4.2.1.2. Phân loại dung dịch rắn

##### a) Dung dịch rắn thay thế

- Khái niệm: Dung dịch rắn thay thế là dung dịch rắn trong đó các nguyên tử chất tan chiếm chỗ của nguyên tử dung môi tại vị trí các nút mạng



Hình 4.1. Dung dịch rắn thay thế

- Đặc điểm: Dung dịch rắn thay thế giữ nguyên kiểu mạng của dung môi nhưng

tạo ra các sai lệch điểm trong mạng tinh thể nên tạo ứng suất dư trong mạng và dấu của ứng suất dư phụ thuộc vào đường kính nguyên tử chất tan.

- Điều kiện tạo dung dịch rắn thay thế:

Điều kiện kích thước: sai khác giữa các đường kính nguyên tử không quá 15% và tính chất lý hóa tương tự nhau

Nếu sai khác đường kính nguyên tử càng nhỏ thì càng dễ tạo dung dịch rắn thay thế.

- Các loại dung dịch rắn thay thế: Dung dịch rắn thay thế có thể có dạng hòa tan vô hạn hoặc hòa tan có hạn.

Điều kiện dung dịch rắn thay thế có thể có dạng hòa tan vô hạn:

+ kiểu mạng giống nhau.

+ thỏa mãn giới hạn nồng độ điện tử Ce (Ví dụ: lftm thì  $Ce \leq 1,36$  , lftk thì  $Ce \leq 1,48$ )

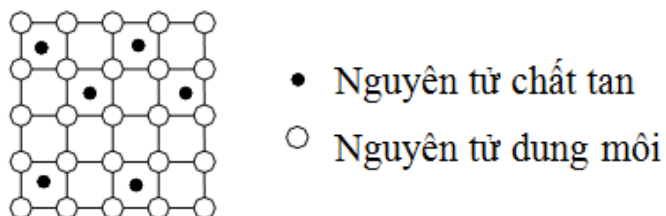
+ đường kính nguyên tử khác nhau ít ( $< 8\%$ )

+ có cùng hóa trị, tính âm điện sai khác nhau ít

ngoài ra tính lý-hóa giống nhau sẽ dễ tạo thành dung dịch rắn hòa tan vô hạn

b) *Dung dịch rắn xen kẽ*

- Khái niệm: Dung dịch rắn xen kẽ là loại dung dịch rắn mà các nguyên tử chất tan đi vào vị trí các lỗ hổng trong mạng tinh thể dung môi.



Hình 4.2. *Dung dịch rắn xen kẽ*

- Đặc điểm của dung dịch rắn xen kẽ:

+ Giữ nguyên kiểu mạng của dung môi, tồn tại các sai lệch điểm loại nút xen kẽ, tạo ra trường ứng suất lớn hơn do kích thước lỗ hổng nhỏ hơn nhiều so với đường kính nguyên tử.

+ Không thể xảy ra dạng dung dịch rắn hòa tan vô hạn.

+ Dung dịch rắn xen kẽ có độ bền và độ cứng cao hơn so với dung dịch rắn thay thế do mức độ xô lệch mạng lớn hơn.

- Điều kiện tạo dung dịch rắn xen kẽ: bán kính nguyên tử chất tan phải rất nhỏ. Nếu sai khác nguyên tử càng lớn thì càng dễ tạo ra dung dịch rắn xen kẽ.

#### 4.2.1.3. Tính chất chung của dung dịch rắn

- Mang tính chất của dung môi: với hợp kim, dung môi phải là kim loại do đó dung dịch rắn mang tính kim loại.

- Trong dung dịch rắn tồn tại nhiều khuyết tật mạng do sự xen kẽ hoặc thay thế của các nguyên tử chất tan, mức năng lượng tự do cao hơn nguyên tử nguyên chất do đó kém ổn định hơn.

- Độ bền, độ cứng và độ rắn thường cao hơn kim loại nguyên chất.

### 4.2.2. Các pha trung gian

#### 4.2.2.1. Khái niệm

Các pha trung gian là dạng cấu trúc hợp kim tạo bởi các cấu tử có kiểu mạng riêng biệt của mình, không phụ thuộc vào kiểu mạng của các nguyên tố tạo ra nó.

#### 4.2.2.2. Các loại pha trung gian

Các pha trung gian có rất nhiều loại khác nhau phụ thuộc vào kích thước nguyên tử tương đối giữa các nguyên tố, hóa trị của các nguyên tố và vị trí của các nguyên tố trong bảng hệ thống tuần hoàn:

##### a) Pha xen kẽ

Là các pha tạo thành có kiểu mạng riêng và là hợp chất hóa học tạo nên giữa các kim loại ở nhóm chuyển tiếp có đường kính nguyên tử lớn với các á kim có đường kính nguyên tử bé và thỏa mãn điều kiện kích thước:

- Khi  $d_B / d_A < 0,59$  tạo thành pha xen kẽ với các kiểu mạng đơn giản của các nguyên tố kim loại, có kiểu mạng khác cả A và B (pha xen kẽ đơn giản). Thường là các loại các bit VC, WC, TiC ...

Đặc điểm: Độ hạt nhỏ, độ cứng và độ bền cao, được dùng làm các pha hóa bền lý tưởng cho hợp kim.

- Khi  $d_B / d_A > 0,59$  tạo thành pha xen kẽ có kiểu mạng tinh thể phức tạp, có tới hàng chục ô cơ bản trong một nguyên tử (pha xen kẽ phức tạp). Ví dụ :  $Fe_3C$ ,  $Mn_3C$ ,  $Cr_7C_3$  ...

Đặc điểm: Có kiểu mạng rất phức tạp.

Tính chất: Có độ cứng, độ bền cao và nhiệt độ nóng chảy cao. Thường dùng hóa bền cho hợp kim làm việc ở nhiệt độ thường.

*b) Pha điện tử (Pha Hum – Rothery)*

Là pha tạo nên bởi các kim loại có hóa trị khác nhau, được hình thành có kiểu mạng riêng nhưng phải thỏa mãn quy luật về trị số nồng độ điện tử  $C_e$ .

Pha điện tử có ba dạng cơ bản:

- Pha  $\beta$ :  $C_e = 3 / 2$  - Có kiểu mạng lập phương thể tâm A2
- Pha  $\gamma$ :  $C_e = 21 / 13$  - Có kiểu mạng lập phương phức tạp với 52 nguyên tử trong một ô cơ bản
- Pha  $\epsilon$ :  $C_e = 7 / 4$  - Có kiểu mạng lục giác.

$$\text{Với } C_e = \frac{n_A \cdot v_A + n_B \cdot v_B}{n_A + n_B} \tag{4.1}$$

Trong đó:

$n_A, n_B$ : chỉ số của các nguyên trong cấu tạo pha

$v_A, v_B$ : hóa trị của các nguyên.

Tính chất: Pha điện tử có độ hạt rất nhỏ, độ cứng và độ bền cao. Số lượng không lớn, vùng thành phần không rộng do đó ít dùng trong việc hóa bền.

*c) Pha Laves*

Là hợp kim của nhóm các kim loại chuyển tiếp mà có thành phần không đổi thường được biểu diễn bằng công thức  $AB_2$  ( $MgCu_2, CuZn_2 \dots$ ).

Đặc điểm của pha Laves: rất giòn làm giảm cơ tính của hợp kim, do đó trong sản xuất hợp kim tránh sự xuất hiện của pha Laves.

Pha Laves có cấu trúc mạng tinh thể theo hệ lập phương và lục giác.

**4.3. Giải đồ trạng thái của hợp kim**

**4.3.1. Khái niệm**

Giải đồ trạng thái của hợp kim là đồ thị xây dựng mối quan hệ giữa tổ chức pha của hợp kim phụ thuộc vào nhiệt độ.

**4.3.2. Ý nghĩa giải đồ trạng thái**

- Dùng để xác định tổ chức của hợp kim theo các điều kiện: nhiệt độ và thành phần.

- Xác định các trạng thái tới hạn của hợp kim ở tất cả các vị trí để phục vụ cho xử lý nhiệt luyện hợp kim.

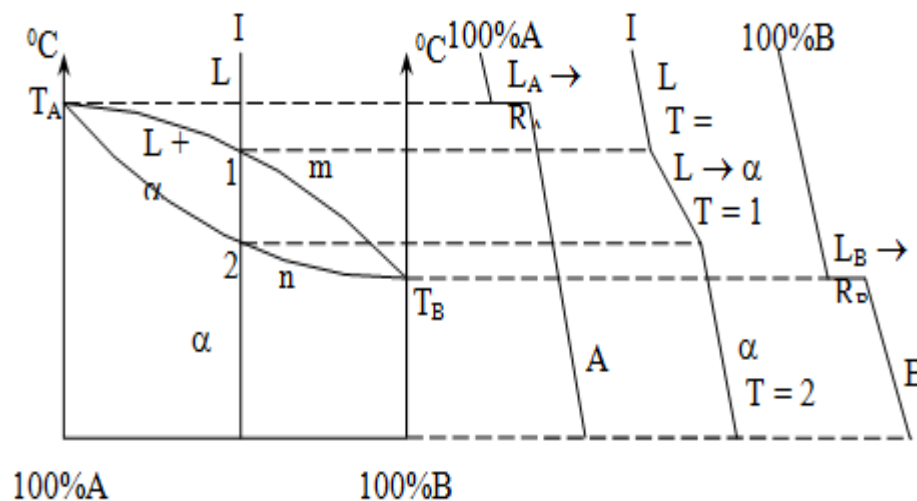
- Lựa chọn phương án sản xuất hợp kim một cách hợp lý nhất.

### 4.3.3. Một số loại giản đồ trạng thái hai nguyên cơ bản

#### 4.3.3.1. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở trạng thái lỏng và trạng thái rắn

Phần lớn trường hợp hai nguyên hòa tan vô hạn ở trạng thái lỏng, nhưng số trường hợp hòa tan vô hạn ở trạng thái rắn lại rất ít, đó là trường hợp của hệ: Cu - Ni; Au - Ag; Au - Pt; Fe - Ni; Au - Ni; Cr - Mo ...

- Dạng giản đồ:



Hình 4.3. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở trạng thái lỏng và trạng thái rắn

- Các đường trên giản đồ:

$T_A$  m  $T_B$ : là đường lỏng;  $T_A$  n  $T_B$ : là đường đặc ;

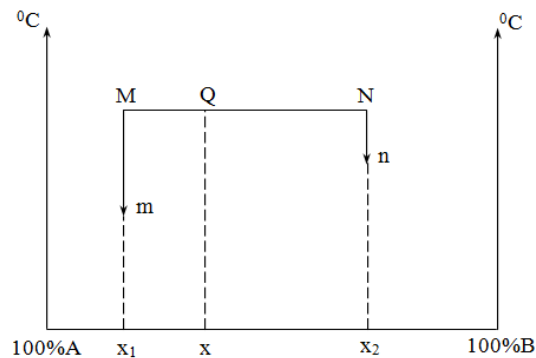
$\alpha$ : dung dịch rắn thay thế của B trong A hoặc A trong B. Điểm  $T_A$  và  $T_B$  ứng với nhiệt độ nóng chảy của hai kim loại nguyên chất tạo nên hệ hợp kim.

Trên điểm (1) - hợp kim lỏng. Từ điểm (1) đến (2) - lỏng chuyển sang rắn. Dưới điểm (2) - kết thúc kết tinh  $\alpha$ .

- Đặc điểm của hợp kim:

Có tính dẻo cao do đồng nhất là một pha dung dịch rắn. Luôn xảy ra sự thiên tích do đó ít sử dụng để sản xuất đúc.

\* Quy tắc đòn bẩy để xác định thành phần pha trong hợp kim:



Hình 4.4. Quy tắc đòn bẩy để xác định thành phần pha trong hợp kim

Khảo sát hợp kim chứa  $x\%B$  ở nhiệt độ  $t_0$  trạng thái này được biểu diễn bởi điểm Q. Giả sử ở nhiệt độ đã cho, hợp kim bao gồm 2 pha M và N, trong pha M có chứa  $x_1\%B$ , còn trong pha N chỉ chứa  $x_2\%B$ . Ta cần tìm lượng tương đối của 2 pha đó là m và n trong một đơn vị của hợp kim. Ta thấy  $m.x_1$  là lượng chứa của B trong M;  $n.x_2$  là lượng chứa của B trong N nên:

$$mx_1 + nx_2 = x \quad \text{và} \quad m + n = 1$$

$$\rightarrow n = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad \text{và} \quad m = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} \quad \text{hay} \quad n = \frac{MQ}{MN} \quad \text{và} \quad m = \frac{NQ}{MN}$$

Quy tắc này giúp ta tính được tỷ lệ pha của hợp kim nếu nó cấu tạo bởi 2 pha.

4.3.3.2. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở lỏng, không hòa tan ở trạng thái rắn và có tạo thành cùng tinh

Trong thực tế, cũng có gặp trường hợp hai nguyên hòa tan vô hạn vào nhau ở trạng thái lỏng, nhưng ở trạng thái rắn lại hoàn toàn không hòa tan vào nhau, đó là trường hợp của các hệ: Pb - Sb; Sn - Zn.

- Dạng giản đồ(hình 4.5)

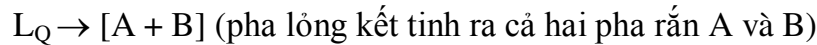
- Các đường trên giản đồ:  $T_A Q T_B$ : là đường lỏng ; P Q R: là đường đặc (đường cùng tinh, điểm Q gọi là điểm cùng tinh).

Đường lỏng và đường đặc phân giản đồ làm 4 khu vực. Khu vực phía trên đường lỏng là vùng tồn tại dung dịch lỏng, khu vực giữa đường lỏng  $T_A Q$  và đường đặc là vùng tồn tại của 2 pha dung dịch lỏng (L) và tinh thể A, khu vực giữa đường lỏng  $T_B Q$  và đường đặc là vùng tồn tại của hai pha dung dịch lỏng (L) và tinh thể B, khu vực phía



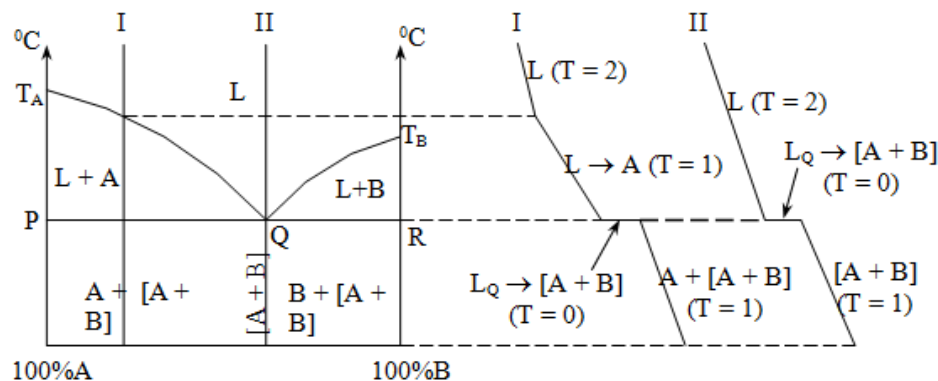
dưới đường đặc là vùng tồn tại của hai pha rắn A và B.

- Hợp kim có thành phần ứng với điểm Q có đặc trưng là có nhiệt độ nóng chảy thấp, kết tinh ở nhiệt độ không đổi và kết tinh ra ngay hai pha rắn một lúc. Điểm Q được gọi là điểm cùng tinh, phản ứng cùng tinh xảy ra như sau:



Hợp kim ở bên trái điểm Q gọi là hợp kim trước cùng tinh, sau điểm Q gọi là hợp kim sau cùng tinh.

- Đường nguội của hợp kim điển hình: hình vẽ



Hình 4.5. Giảm đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở lỏng, không hòa tan ở trạng thái rắn và có tạo thành cùng tinh

4.3.3.3. Giảm đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở trạng thái lỏng, hòa tan có hạn ở trạng thái rắn và có tạo thành cùng tinh

- Giảm đồ trạng thái(hình 4.6)

- Các đường trên giảm đồ:

$T_A Q T_B$ : là đường lỏng ;  $T_A P Q R T_B$ : là đường đặc ;  $P Q R$ : đường cùng tinh

Q: điểm cùng tinh; PE: đường giới hạn hoà tan của B trong A theo nhiệt độ

RF: đường giới hạn hoà tan của A trong B theo nhiệt độ

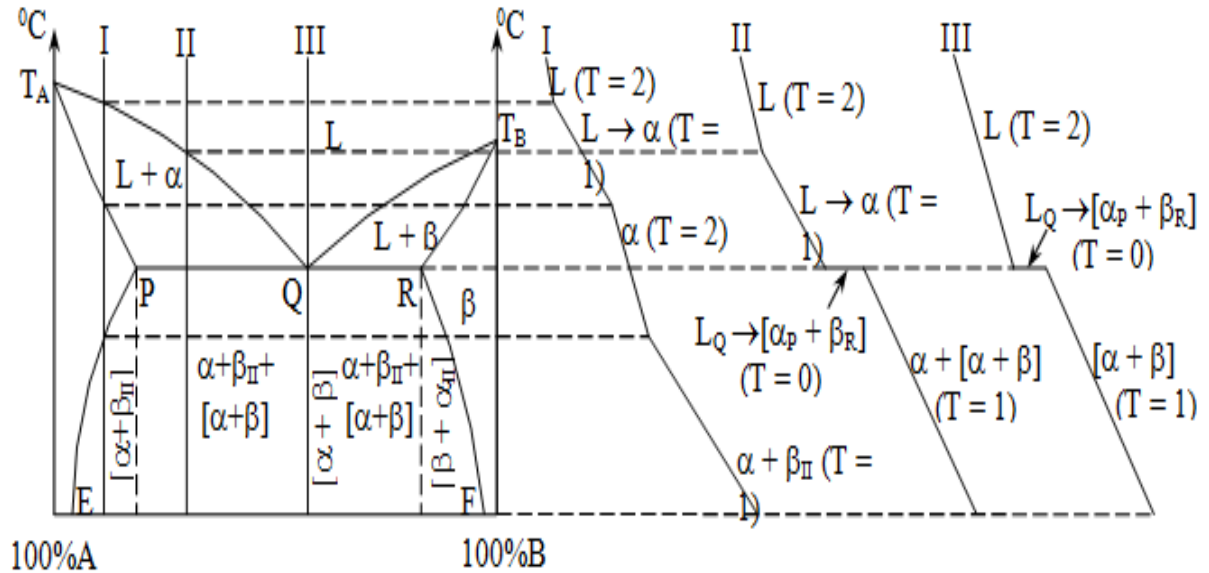
$\alpha$ : dung dịch rắn xen kẽ của B trong A;

$\beta$ : dung dịch rắn xen kẽ của A trong B

$\alpha_{II}, \beta_{II}$ : vẫn là  $\alpha, \beta$  nhưng được tiết ra ở trạng thái rắn

$[\alpha + \beta]$ : hỗn hợp cơ học cùng tinh của A và B

- Đường nguội của hợp kim điển hình: hình vẽ



Hình 4.6. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở trạng thái lỏng, hòa tan có hạn ở trạng thái rắn và có tạo thành cùng tinh

- Đặc điểm của hợp kim: có hai vùng
  - + Dung dịch rắn
  - + Có hỗn hợp cơ học cùng tinh

→ Tùy theo thành phần hợp kim người ta có thể lựa chọn các phương pháp gia công khác nhau:

- + Các hợp kim có % B < % P và > % R: đây là hợp kim dẻo, có thể gia công áp lực.
- + Các hợp kim có % B thuộc khoảng [ P, R ]: đây là hợp kim đúc, tính chất phụ thuộc vào lượng  $\alpha$  và  $\beta$ .

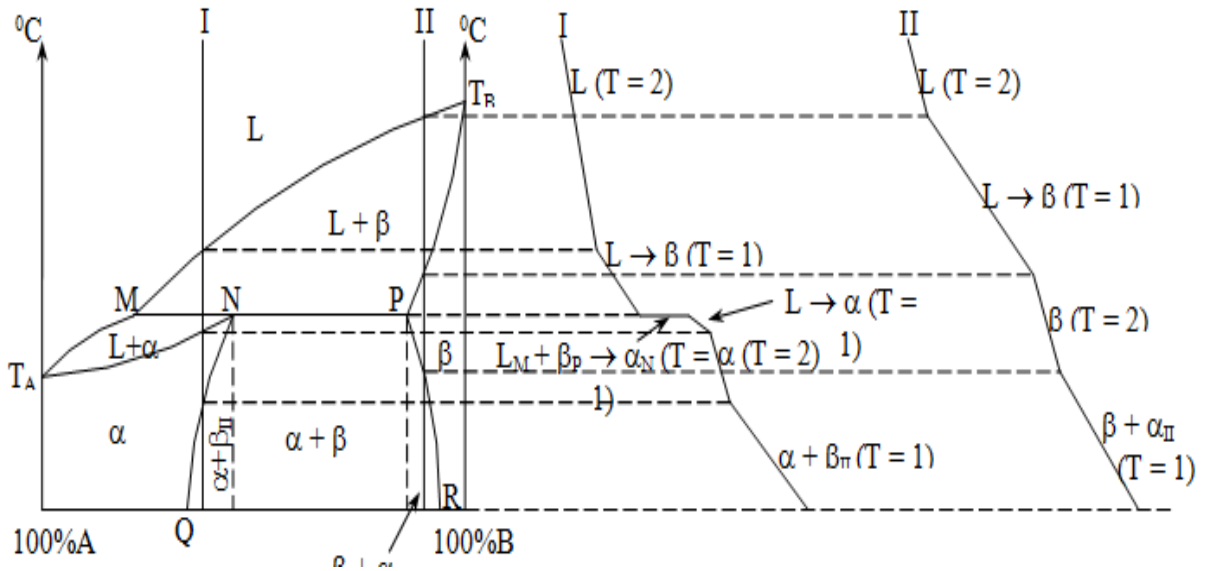
#### 4.3.3.4. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở lỏng và tạo thành bao tinh

- Dạng giản đồ( hình 4.7)
- Các đường trên giản đồ:

$T_A M T_B$ : là đường lỏng .

$T_A N P T_B$ : là đường đặc.

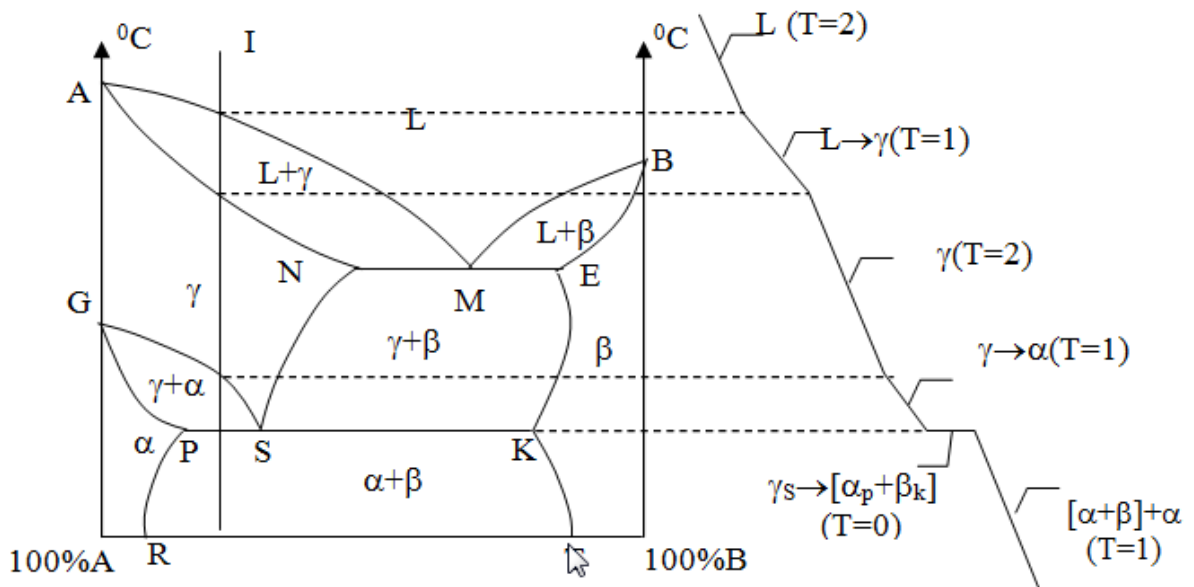
$M N P$ : đường bao tinh, xảy ra phản ứng bao tinh  $L_M + \beta_P \rightarrow \alpha_N$



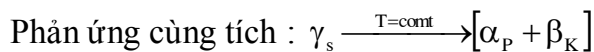
Hình 4.7. Giản đồ hệ hai nguyên hòa tan vô hạn ở lỏng và tạo thành bao tinh

4.3.3.5. Một số dạng giản đồ đặc biệt

- Loại tạo cùng tích



Hình 4.8. Giản đồ loại cùng tích

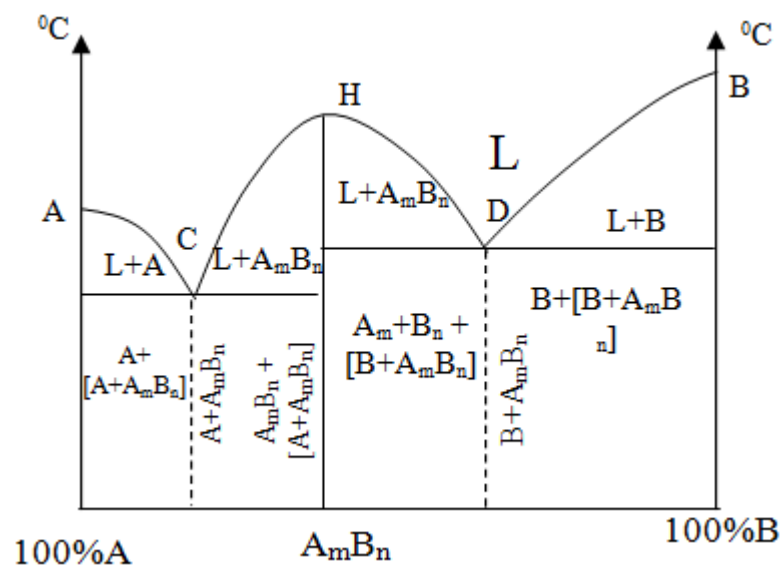


$[\alpha_p + \beta_k]$  gọi là hỗn hợp cơ học cùng tích

Ví dụ: Giản đồ trạng thái Fe + C (sẽ nghiên cứu ở phần sau)

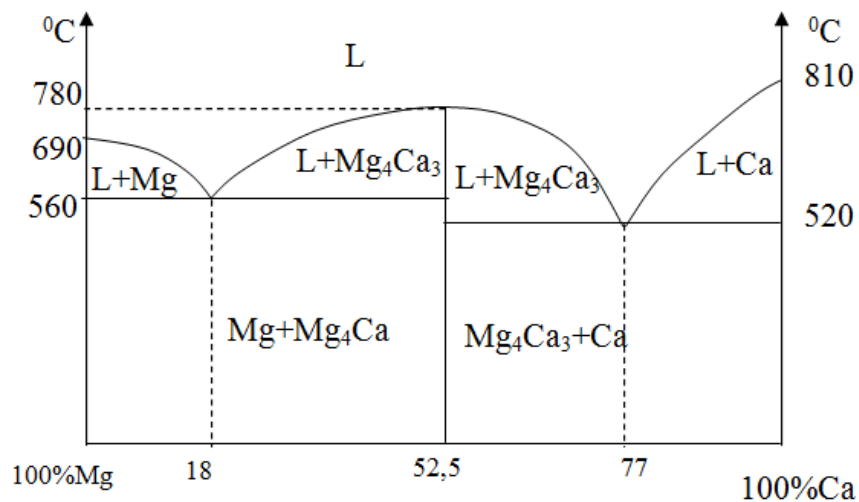
- Loại tạo thành hợp chất hóa học ổn định

Các hợp chất hóa học tạo thành luôn ổn định về thành phần hóa học.



Hình 4.9. Biểu đồ hai nguyên tố tạo thành hợp chất hóa học ổn định

Ví dụ: Biểu đồ trạng thái Mg - Ca



Hình 4.10. Biểu đồ Mg-Ca

#### 4.4. Biểu đồ trạng thái Fe - C

##### 4.4.1. Tương tác giữa Sắt(Fe)-Carbon và biểu đồ trạng thái

##### 4.4.1.1. Tương tác giữa Sắt(Fe)-Carbon

Sắt (Fe) khá dẻo (dễ biến dạng nguội), dai. Tuy bền và cứng hơn Nhôm, Đồng nhiều nhưng vẫn còn thấp so với yêu cầu sử dụng

Khi đưa Cacbon vào Fe sẽ tạo hợp kim bền, rẽ hơn nên hợp kim Fe-C trở nên thông dụng.

a) Sự hòa tan của C vào Fe

**Tạo thành dung dịch rắn xen kẽ:** do bán kính của nguyên tử cacbon  $r_C = 0,077(\text{nm})$ , bán kính nguyên tử sắt  $r_{\text{Fe}} = 0,1241(\text{nm})$  nên Cacbon chỉ có thể hòa tan có hạn vào sắt ở dạng dung dịch rắn xen kẽ

**Sắt có 2 kiểu mạng tinh thể:** lập phương tâm khối A2 (ở nhiệt độ  $t < 911^\circ\text{C}$  -  $\text{Fe}_\alpha$  và nhiệt độ  $t = 392^\circ\text{C}$  đến  $1539^\circ\text{C}$  -  $\text{Fe}_\delta$ ) và lập phương tâm mặt A1 ( $t = 911^\circ\text{C}$  đến  $392^\circ\text{C}$  -  $\text{Fe}_\gamma$ ), khả năng hòa tan cacbon vào các pha Sắt là khác nhau

**$\text{Fe}_\alpha$  và  $\text{Fe}_\delta$  với kiểu mạng A2:** tuy mật độ xếp thấp, nhiều lỗ hổng, nhưng lỗ hổng lại có kích thước quá nhỏ, đường kính lỗ hổng lớn cũng 50% kích thước đường kính nguyên tử Sắt, nên  $\text{Fe}_\alpha$  chỉ hòa tan được dưới 0,02%C và  $\text{Fe}_\delta$  hòa tan dưới 0,1%C

**$\text{Fe}_\gamma$  với kiểu mạng A1:** tuy có mật độ xếp cao hơn nhưng lỗ hổng lại có kích thước lớn hơn, nó vẫn còn hơi nhỏ nhưng do các nguyên tử Sắt có thể giãn ra nên  $\text{Fe}_\gamma$  có thể hòa tan đến 2,14%C

b) Tương tác hóa học giữa Sắt và Cacbon

Austenit ( $\gamma$ ) là dung dịch rắn của Cacbon trong  $\text{Fe}_\gamma$  có kiểu mạng A1, giới hạn hòa tan:  $727^\circ\text{C}$ -0,8%C đến  $1147^\circ\text{C}$ -2,14%C

Ferit ( $\alpha$ ) là dung dịch rắn của Cacbon trong  $\text{Fe}_\alpha$  có kiểu mạng A2, giới hạn hòa tan:  $20^\circ\text{C}$ -0,006%C đến  $727^\circ\text{C}$ -0,8%C

$\text{Fe}_3\text{C}$  là pha xen kẽ có kiểu mạng phức tạp, thành phần hóa học 6,67%C+93,33%Fe

4.4.1.2. Giản đồ trạng thái

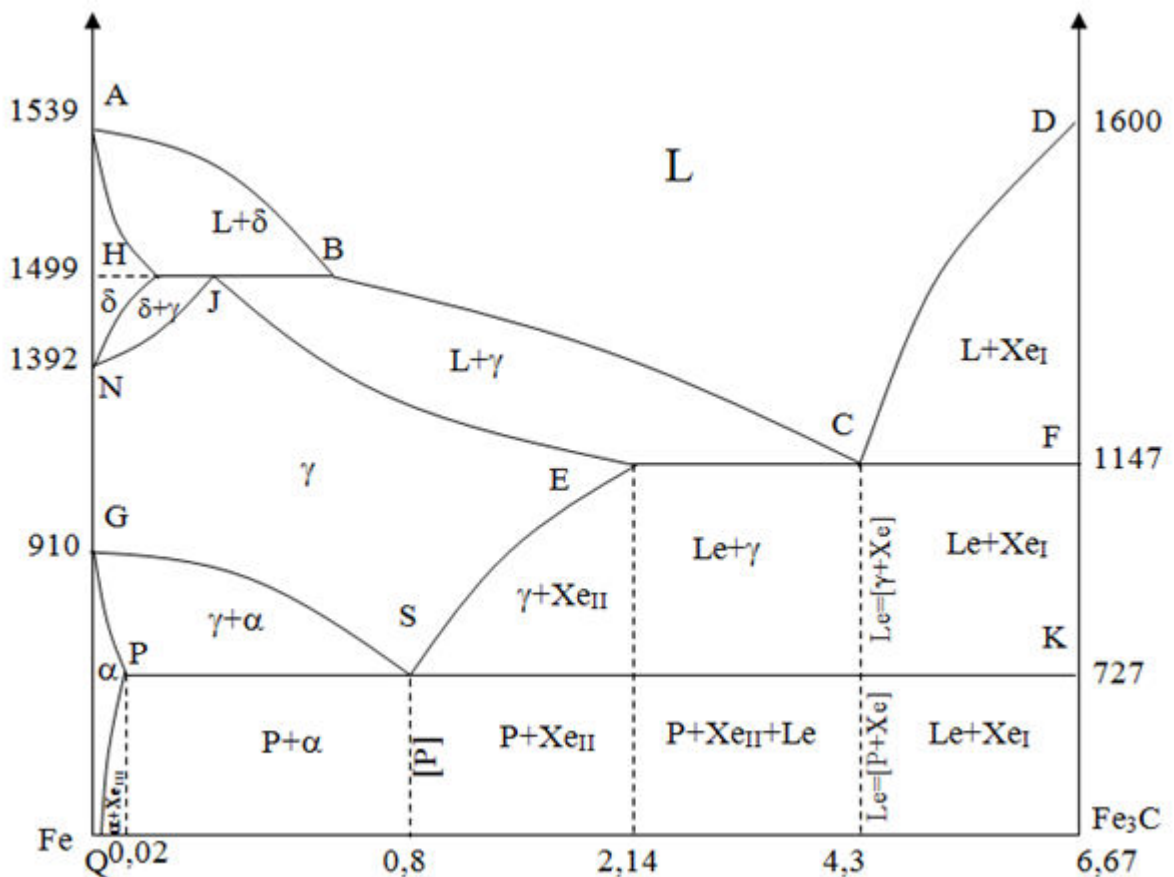
Theo lý thuyết, giản đồ trạng thái Fe - C phải được xây dựng từ 100% Fe đến 100%C song do không dùng các hợp kim Fe - C với lượng các bon nhiều hơn 5% nên ta chỉ xây dựng giản đồ đến 6,67% các bon tức là ứng với hợp chất hóa học  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Trong thực tế, Fe với C tồn tại ở 3 dạng hợp chất là FeC,  $\text{Fe}_2\text{C}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$  song xêmentít ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ổn định về thành phần hóa học ở mọi nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ nóng chảy nên dùng  $\text{Fe}_3\text{C}$  làm cấu tử.

Trên giản đồ:

- Đường ABCD là đường lỏng ; Đường AHJECF là đường đặc
- Đường PSK(727°C) là đường cùng tích
- Đường ES-giới hạn hòa tan cacbon trong  $Fe_\gamma$
- Đường PQ-giới hạn hòa tan cacbon trong  $Fe_\alpha$

Các chuyển biến khi làm nguội chậm:

- Chuyển biến bao tinh xảy ra ở 1499°C:  $\delta_H + L_B = \gamma_J$  hay  $\delta_{0,1} + L_{0,5} = \gamma_{0,16}$
- Chuyển biến cùng tinh xảy ra ở 1147°C:  $L_C = (\gamma_E + X_{eI})$  hay  $L_{4,3} = (\gamma_{2,14} + X_e)$
- Chuyển biến cùng tích xảy ra ở 727°C:  $\gamma_S = (\alpha_P + X_{eII})$  hay  $\gamma_{0,8} = (\alpha_{0,02} + X_e)$



Hình 4.11. Giản đồ Fe-C

Bảng 4.1. Bảng tọa độ các điểm

<i>Điểm</i>	<i>%C</i>	<i>Nhiệt độ</i>	<i>Điểm</i>	<i>%C</i>	<i>Nhiệt độ</i>
A	0	1539	E	2,14	1147
H	0,1	1499	C	4,3	1147
J	0,16	1499	F	6,67	1147
B	0,51	1499	P	0,02	727
N	0	1392	S	0,8	727
D	6,67	1600	K	6,67	727
G	0	910	Q	0,006	0

#### 4.4.2. Các tổ chức của hợp kim Fe - C

##### 4.4.2.1. Các tổ chức một pha

- Hợp kim lỏng (L): là dung dịch lỏng của cacbon trong sắt, tồn tại ở phía trên đường lỏng ABCD.

- Ferit (ký hiệu là F hay  $\alpha$ ): là dung dịch rắn xen kẽ của cacbon ở trong Fe( $\alpha$ ), có mạng lập phương thể tâm nên khả năng hòa tan của cacbon ở trong Fe( $\alpha$ ) là không đáng kể, lớn nhất ở 727<sup>0</sup>C là 0,02% và nhỏ nhất ở nhiệt độ thường là 0,006%.

- Austenit (ký hiệu là As hay  $\gamma$ ): là dung dịch rắn xen kẽ của cacbon trong Fe( $\gamma$ ), có mạng lập phương diện tâm nên khả năng hòa tan cacbon của Fe( $\gamma$ ) khá lớn, lớn nhất ở nhiệt độ 1147<sup>0</sup>C với 2,14% và nhỏ nhất ở 727<sup>0</sup>C với 0,8%C.

Austenit rất dẻo và dai khi các nguyên tố khác hòa tan vào không những làm độ cứng tăng lên và độ dẻo độ dai giảm đi đáng kể mà còn làm thay đổi động học chuyển biến do đó ảnh hưởng lớn tới nhiệt luyện.

- Xementit (ký hiệu là Xe hay Fe<sub>3</sub>C): là hợp chất hóa học của sắt với các bon - Fe<sub>3</sub>C, ứng với đường thẳng đứng DFK.

- Xementit thứ nhất (Xe<sub>I</sub>): là loại kết tinh từ hợp kim lỏng, nó được tạo thành trong các hợp kim chứa nhiều hơn 4,3% và trong khoảng nhiệt độ (1147 ÷ 1600)<sup>0</sup>C. Do tạo nên từ pha lỏng và ở nhiệt độ cao nên Xe<sub>I</sub> có tổ chức hạt to.

- Xementit thứ hai (Xe<sub>II</sub>): là loại được tiết ra từ dung dịch rắn Austenit ở trong khoảng nhiệt độ (727 ÷ 1147)<sup>0</sup>C khi độ hòa tan của cacbon ở trong pha này giảm từ

2,14% xuống còn 0,8% do vậy  $Xe_{II}$  có trong hợp kim với thành phần các bon lớn hơn 0,8%. Do tạo từ pha rắn và ở nhiệt độ không cao lắm nên  $Xe_{II}$  có tổ chức hạt nhỏ hơn, do được tiết ra từ Austenit nên thường ở dạng lưới bao quanh Austenit.

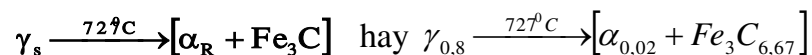
- Xementit thứ ba ( $Xe_{III}$ ): là loại được tiết ra từ dung dịch rắn Ferit ở trong khoảng nhiệt độ thấp hơn  $727^{\circ}C$  khi độ hòa tan giới hạn của cacbon trong Ferit giảm từ 0,02% xuống 0,006%.  $Xe_{III}$  có ở trong mọi hợp kim có thành phần C lớn hơn 0,006% nhưng với lượng rất ít. Do tạo nên từ pha rắn và ở nhiệt độ thấp, khả năng khuếch tán của nguyên tử rất kém nên  $Xe_{III}$  thường ở dạng mạng lưới hay hạt rất nhỏ bên cạnh Ferit.

- Xementit cùng tích : được tạo thành do chuyển biến cùng tích tiết ra peclit, là pha rất quang trọng trong hợp chất Fe-C

Các dạng Xementit không khác nhau về bản chất pha, chỉ khác nhau về kích thước hạt và sự phân bố do điều kiện tạo thành khác nhau.

#### 4.4.2.2. Các tổ chức 2 pha

- **Peclit (ký hiệu là P hay  $[\alpha+Xe]$ ):** Peclit là hỗn hợp cơ học cùng tích của Ferit và Xementit ( $\alpha + Xe$ ) tạo thành ở  $727^{\circ}C$  từ dung dịch rắn Austenit chứa 0,8%C. Trong Peclit có 88% Ferit và 12% Xementit. Từ giản đồ trạng thái Fe - C ta thấy trong quá trình làm nguội, thành phần cacbon của Austenit sẽ biến đổi và khi đến  $727^{\circ}C$  có 0,8%C (các hợp kim có lượng cacbon nhỏ hơn 0,8% thì thành phần Austenit biến đổi theo hướng tiết ra Ferit để làm tăng cacbon còn các hợp kim có lượng cacbon lớn hơn 0,8% thì thành phần Austenit biến đổi theo hướng tiết ra Xementit làm giảm cacbon, cả 2 trường hợp trên đều đưa đến lượng cacbon trong Austenit là 0,8% ở  $727^{\circ}C$ ). Lúc đó, Austenit có 0,8% C sẽ chuyển biến thành hỗn hợp cùng tích của Ferit và Xementit:



Tùy theo hình dạng Xementit ở trong hỗn hợp, người ta chia ra 2 loại peclit là peclit tấm và peclit hạt (Peclit tấm Xe ở dạng tấm phiến còn Peclit hạt thì Xe ở dạng hạt). Peclit là hỗn hợp cơ học nên có tính chất trung gian. Kết hợp giữa tính dẻo, dai của  $\alpha$  và cứng, giòn của Xe nên nói chung P có độ cứng, độ bền cao, tính dẻo dai thấp. Tuy nhiên cơ tính của nó có thể thay đổi trong phạm vi khá rộng phụ thuộc vào độ hạt của Xe.



- **Ledeburit (ký hiệu là *Le* hoặc  $[\gamma+Xe]$  hay  $[P+Xe]$ ):** Ledeburit là hỗn hợp cơ học cùng tinh, kết tinh từ pha lỏng có nồng độ 4,3%C ở 1147<sup>0</sup>C.

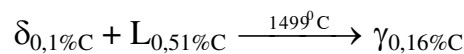
Lúc đầu mới tạo thành nó gồm  $\gamma$  và Xe (trong khoảng 727<sup>0</sup>C ÷ 1147<sup>0</sup>C). Khi làm nguội xuống dưới 727<sup>0</sup>C,  $\gamma$  chuyển biến thành P do vậy Lêdeburit là hỗn hợp cơ học của Peclit và Xementit. Như vậy cuối cùng Lêdeburit có 2 pha là  $\alpha$  và Xe trong đó Xe chiếm tỉ lệ gần 2/3 nên Ledeburit rất cứng và giòn.

#### 4.4.3. Quá trình kết tinh của hợp kim Fe-C

##### 4.4.3.1. Phần phía trên đường đặc AHJECF

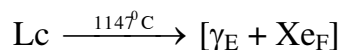
- Khu vực có thành phần (0,1 ÷ 0,51) %C:

Khi làm nguội đến đường lỏng AB, hợp kim lỏng sẽ kết tinh ra dung dịch rắn  $\delta$  trước. Khi hạ nhiệt độ xuống tới 1499<sup>0</sup>C, hợp kim có 2 pha là dung dịch rắn  $\delta$  chứa 0,1%C và dung dịch lỏng chứa 0,51%C nên xảy ra phản ứng bao tinh tạo ra dung dịch rắn Austenit chứa 0,16%C.



- Khu vực có thành phần (0,51 ÷ 4,3) %C:

Khi làm nguội hợp kim tới đường lỏng BC nó sẽ kết tinh ra  $\gamma$ . Các hợp kim có thành phần từ (0,51 ÷ 2,14) %C kết thúc kết tinh bằng sự tạo thành dung dịch rắn  $\gamma$  còn các hợp kim có thành phần từ (2,14 ÷ 4,3) %C kết thúc kết tinh bằng sự kết tinh của dung dịch lỏng có thành phần ứng với điểm C tạo ra 2 pha  $\gamma$  có thành phần ứng với điểm E và Xe ở 1147<sup>0</sup>C.



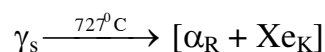
Hỗn hợp cơ học trên gọi là hỗn hợp cơ học cùng tinh Ledeburit

Khi  $T > 727^{\circ}C$  tổ chức Le gồm  $[\gamma + Xe]$

Khi  $T < 727^{\circ}C$  tổ chức Le gồm  $[P + Xe]$

##### 4.4.3.2. Phần phía dưới đường đặc AHJECF

Tại 727<sup>0</sup>C  $\gamma$  có thành phần 0,8%C sẽ chuyển biến thành P là hỗn hợp của 2 pha  $\alpha$  và Xe gọi là hỗn hợp cơ học cùng tích.



#### 4.5. Phân loại hợp kim Fe - C theo giản đồ trạng thái

Để phân loại hợp kim Fe - C người ta dựa vào hàm lượng của cacbon trong hợp kim đó.

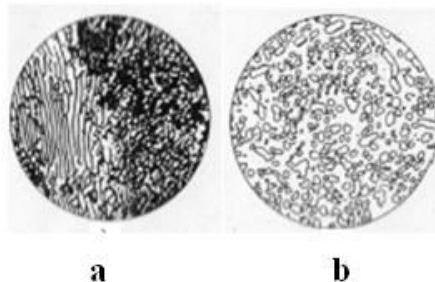
**4.5.1. Thép :** Là hợp kim của Fe với C mà hàm lượng C trong nó nhỏ hơn 2,14%. Do vậy, ta có thể phân ra làm 3 loại thép.

- Thép trước cùng tích: Thép có hàm lượng cacbon  $< 0,8\%$  . Tổ chức của thép trước cùng tích là  $(P + \alpha)$ .



Hình 4.12. Tổ chức tế vi của thép trước cùng tích

- Thép cùng tích: Thép có thành phần cacbon = 0,8%. Tổ chức của thép cùng tích là hỗn hợp cơ học cùng tích P.



Hình 4.13. Tổ chức tế vi của thép cùng tích

a. Peclit tấm; b. Peclit hạt

- Thép sau cùng tích: Là thép có hàm lượng cacbon nằm trong khoảng  $(0,8 \div 2,14)\%$  . Tổ chức của thép sau cùng tích là  $P + Xe_{II}$ . Lượng  $Xe_{II}$  ít được tiết ra dưới dạng mạng lưới bao quanh hạt P nên có tính giòn cao chính vì vậy, trên thực tế người ta chỉ dùng thép có hàm lượng cacbon nhỏ hơn 1,3%.



Hình 4.14. Tổ chức tế vi của thép sau cùng tích

Dải trắng là  $Xe_{II}$ , với nền tối là P.

#### 4.5.2. Gang

Là hợp kim của Fe với C mà hàm lượng C trong nó lớn hơn 2,14% và nhỏ hơn 6,67%. Dựa vào hàm lượng cacbon và tương tự đối với thép, ta có thể phân ra làm 3 loại gang sau:

- Gang trước cùng tinh là loại gang có hàm lượng cacbon  $< 4,3\%$ .

Tổ chức của gang trước cùng tinh là  $P + Xe_{II} + Le$ . Đây là loại gang thường được sử dụng trong thực tế

- Gang cùng tinh là loại gang có hàm lượng cacbon là 4,3%. Tổ chức của gang cùng tinh là Le

- Gang sau cùng tinh: là loại gang có hàm lượng cacbon lớn hơn 4,3%

Tổ chức của gang sau cùng tinh là  $Le + Xe_I$

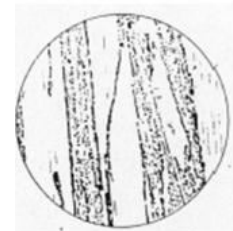
Các loại gang trên được gọi chung là gang trắng, cacbon trong gang trắng đều tồn tại dưới dạng Xe.



*a. trước cùng tinh*



*b. cùng tinh*



*c. sau cùng tinh*

Hình 4.15. Tổ chức tế vi của gang

#### 4.5.3. Đặc điểm cơ tính của thép và gang theo giản đồ trạng thái

##### 4.5.3.1. Thép

- Thép trước cùng tích, lượng cacbon ít nên lượng Xe cũng ít vì vậy thép có tính dẻo cao.

- Thép sau cùng tích và cùng tích, hàm lượng cacbon tăng nên tỉ lệ pha Xe tăng do vậy làm tăng độ cứng, tính giòn đồng thời làm độ thắt tỉ đối  $\psi$ , độ giãn dài tương đối  $\delta$  giảm xuống. Vì những lý do trên mà trên thực tế, người ta không dùng thép có hàm lượng cacbon quá cao ( $\%C > 1,3\%$ ).

##### 4.5.3.2. Gang

Gang sau cùng tích có lượng Xe quá nhiều gây giòn và cứng, không có khả năng cắt gọt do vậy không được sử dụng. Thực tế, người ta sử dụng gang trước cùng tích có hàm lượng cacbon nhỏ hơn 3,5%.

#### 4.6. Các nhiệt độ tới hạn Fe - C theo giản đồ trạng thái

##### 4.6.1. Nhiệt độ phản ứng cùng tinh ( $T = 1147^{\circ}\text{C}$ )

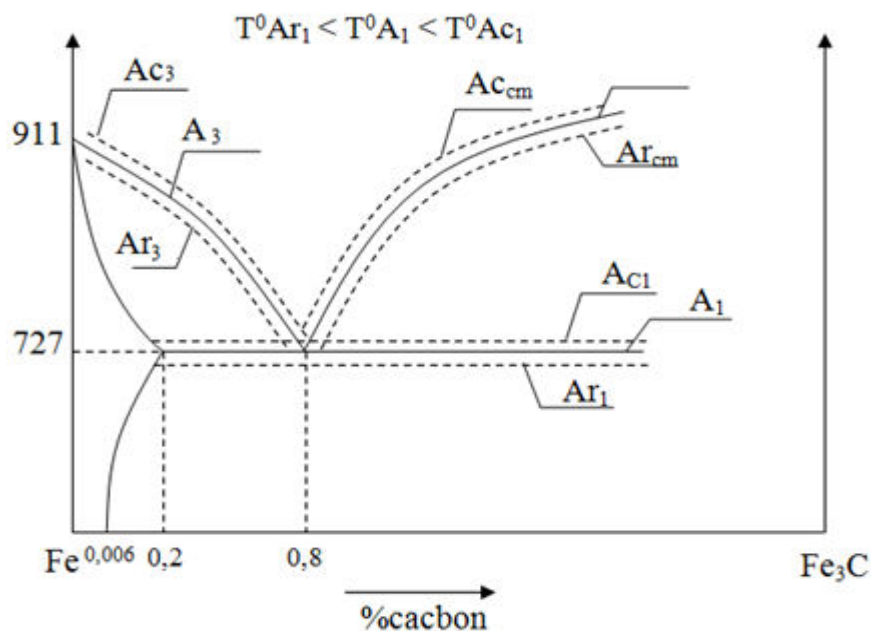
Với hàm lượng cacbon lớn hơn 2,14% được dùng để xác định chế độ nấu luyện của hợp kim.

##### 4.6.2. Nhiệt độ phản ứng cùng tích ( $T = 727^{\circ}\text{C}$ )

$\gamma \rightarrow [\text{F} + \text{Xe}]$  (khi làm nguội) và  $[\text{F} + \text{Xe}] \rightarrow \gamma$  (khi nung).

Hàm lượng cacbon lớn hơn 0,02% và được áp dụng nhiều trong nhiệt luyện là đường  $A_1$ .

Trong thực tế, nhiệt độ chuyển biến khi nung nóng và làm nguội bao giờ cũng khác với giản đồ. Để biểu thị quá trình nung nóng khi có sự chuyển biến pha trên thực tế người ta gọi đó là đường  $AC_1$  và khi làm nguội là đường  $Ar_1$



Hình 4.16. Đồ thị nhiệt độ thực tế khi nung nóng và làm nguội

4.6.3. Nhiệt độ đường giới hạn hòa tan của Ferit ( $\alpha$ ) trong Austenit ( $\gamma$ ) là đường  $A_3$

Nhiệt độ giới hạn hòa tan được thay đổi theo hàm lượng cacbon gọi là đường  $A_3$ . Khi nung vượt qua nhiệt độ  $AC_3$  thì kết thúc quá trình hòa tan của Ferit ( $\alpha$ ) vào Austenit ( $\gamma$ ). Đồng thời, khi làm nguội xuống nhiệt độ nhỏ hơn  $Ar_3$  thì bắt đầu tiết ra Ferit ( $\alpha$ ) từ Austenit( $\gamma$ ).

Như vậy:  $T^0Ar_3 < T^0A_3 < T^0Ac_3$

#### **4.6.4. Nhiệt độ đường giới hạn hòa tan của Xementit (Xe) vào Austenit ( $\gamma$ ) là đường $A_{cm}$**

Nhiệt độ giới hạn hòa tan được thay đổi theo hàm lượng cacbon gọi là đường  $A_{cm}$ . Khi nung vượt qua nhiệt độ  $Ac_{cm}$  thì kết thúc quá trình hòa tan của Xementit (Xe) vào Austenit ( $\gamma$ ). Đồng thời, khi làm nguội xuống nhiệt độ nhỏ hơn  $Arcm$  thì bắt đầu có sự tiết ra Xementit (Xe) từ Austenit ( $\gamma$ ).

Như vậy:  $T^0Arcm < T^0A_{cm} < T^0Ac_{cm}$ .

## Chương 5. NHIỆT LUYỆN THÉP

Ở chương này sẽ nghiên cứu những biến đổi về tổ chức và cơ tính tương ứng của thép khi nung nóng rồi làm nguội, tức là nhiệt luyện. Thép là vật liệu rất thông dụng và hợp kim nhạy cảm nhất với nhiệt luyện và công nghệ này rất phổ biến trong sản xuất cơ khí. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Thế nào là nhiệt luyện thép.
- + Các tổ chức đạt được khi nung nóng và làm nguội thép.
- + Các hình thức nhiệt luyện thép.
- + Các khuyết tật xảy ra khi nhiệt luyện thép và biện pháp khắc phục.

### 5.1. Khái niệm nhiệt luyện thép

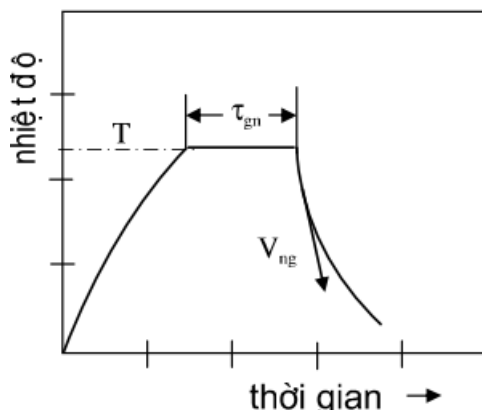
#### 5.1.1. Sơ lược về nhiệt luyện

##### a) Định nghĩa

Nhiệt luyện là công nghệ nung nóng kim loại, hợp kim đến nhiệt độ xác định, giữ nhiệt tại đó một thời gian thích hợp rồi sau đó làm nguội với tốc độ xác định để làm thay đổi tổ chức, do đó đạt tích chất theo yêu cầu.

##### b) Các yếu tố đặc trưng cho nhiệt luyện

Đối với quá trình nhiệt luyện, ít nhất cũng được đặc trưng bằng ba thông số quan trọng nhất sau (xem sơ đồ quá trình nhiệt luyện đơn giản nhất vẽ ở hình 5.1):



Hình 5.1. Sơ đồ của quá trình nhiệt luyện đơn giản nhất

- T: nhiệt độ cao nhất mà quá trình phải đạt đến.

- Thời gian giữ nhiệt  $t_{gn}$ : thời gian ngưng ở nhiệt độ nung nóng.
- Tốc độ nguội  $V_{ng}$  sau khi giữ nhiệt.

Ba thông số này đặc trưng tương ứng với ba giai đoạn nối tiếp nhau của quá trình nhiệt luyện: nung nóng, giữ nhiệt và làm nguội.

Đối với kết quả nhiệt luyện được đánh giá bằng các chỉ tiêu sau:

+ Tổ chức tế vi bao gồm cấu tạo pha, kích thước hạt, chiều sâu lớp hóa bền... Có thể nói đây là chỉ tiêu gốc, cơ bản nhất song để thực hiện khá mất thời gian, nên thường chỉ kiểm tra trong từng mẻ khi sản xuất đã ổn định.

+ Độ cứng là chỉ tiêu cơ tính dễ xác định và cũng có liên quan đến các chỉ tiêu khác như độ bền, độ dẻo, độ dai. Vì vậy bất cứ chi tiết, dụng cụ nào qua nhiệt luyện cũng được quy định giá trị độ cứng (tùy trường hợp, phải lớn hơn hay nhỏ hơn giá trị quy định) và thông thường được kiểm tra theo tỷ lệ (trong một số trường hợp quan trọng có thể phải kiểm tra cả 100%).

+ Độ cong vênh, biến dạng. Nói chung độ biến dạng khi nhiệt luyện trong nhiều trường hợp là nhỏ hoặc không đáng kể, song trong một số trường hợp quan trọng yêu cầu này rất khắt khe, nếu vượt quá phạm vi cho phép cũng không thể sử dụng được.

### c) Phân loại nhiệt luyện thép

Sơ bộ có thể phân loại các phương pháp nhiệt luyện thép với những đặc điểm chủ yếu như sau:

+ **Nhiệt luyện**(thường gặp nhất): chỉ dùng cách thay đổi nhiệt độ (không có biến đổi thành phần và biến dạng dẻo) để biến đổi tổ chức trên toàn tiết diện. Nó bao gồm nhiều phương pháp:

+ **Ủ**: nung nóng rồi làm nguội chậm để đạt tổ chức cân bằng với độ cứng, độ bền thấp nhất, độ dẻo cao nhất.

+ **Thường hóa**: nung nóng đến tổ chức hoàn toàn austenit, làm nguội bình thường trong không khí tĩnh để đạt tổ chức gần cân bằng. Mục đích của ủ và thường hóa là làm mềm thép để dễ gia công cắt và dập nguội.

+ **Tôi**: nung nóng làm xuất hiện austenit rồi làm nguội nhanh để đạt tổ chức không cân bằng với độ cứng cao nhất (nhưng cũng đi kèm với độ giòn cao).

Nếu hiệu ứng này chỉ xảy ra ở bề mặt được gọi là tôi bề mặt.

+ **Ram:** nguyên công bắt buộc sau khi tôi, nung nóng lại thép tôi để điều chỉnh độ cứng, độ bền theo đúng yêu cầu làm việc.

Như vậy tôi và ram là hai nguyên công nhiệt luyện đi kèm với nhau (không tiến hành riêng lẻ mà luôn luôn kết hợp với nhau), mục đích của tôi + ram là tạo cơ tính phù hợp với yêu cầu làm việc cụ thể.

+ **Hóa - nhiệt luyện:** dùng cách thay đổi nhiệt độ và biến đổi thành phần hóa học ở bề mặt làm vùng này có biến đổi tổ chức và cơ tính mạnh hơn. Thường tiến hành bằng cách thấm, khuếch tán một hay nhiều nguyên tố nhất định.

Thấm đơn nguyên tố có: thấm cacbon, thấm nitơ...

Thấm đa nguyên tố có: thấm cacbon - nitơ, thấm cacbon - nitơ - lưu huỳnh...

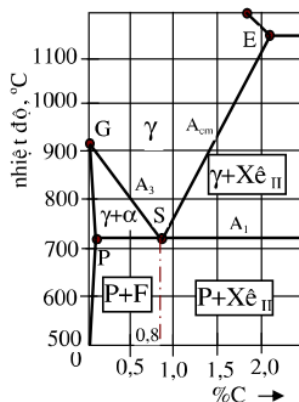
+ **Cơ - nhiệt luyện:** dùng cách thay đổi nhiệt độ và biến dạng dẻo để biến đổi tổ chức và cơ tính trên toàn tiết diện mạnh hơn khi nhiệt luyện đơn thuần. Thường tiến hành ở xưởng cán nóng thép, tức ở các xí nghiệp luyện kim.

## 5.2. Các tổ chức đạt được khi nung nóng và làm nguội thép

### 5.2.1. Các chuyển biến xảy ra khi nung nóng thép - Sự tạo thành austenit

#### a) Cơ sở xác định chuyển biến khi nung

Cơ sở để xác định chuyển biến khi nung thép là giản đồ pha Fe - C, song chỉ giới hạn ở khu vực thép và ở trạng thái rắn (dưới đường rắn) như trình bày ở hình 5.2. Như thấy rõ từ giản đồ pha, ở nhiệt độ thường mọi thép đều cấu tạo bởi hai pha cơ bản: ferit (F) và xêmentit (Xe), trong đó có peclit là hỗn hợp cùng tích của hai pha này.



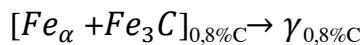
Hình 5.2. Giản đồ pha Fe-C (phần thép)



Bây giờ khi nung nóng các thép này lên nhiệt độ cao, hãy xem trong chúng lần lượt xảy ra các chuyển biến gì?

+ Khi nhiệt độ nung nóng thấp hơn  $Ac_1$  trong mọi thép vẫn chưa có chuyển biến gì (cho nên sau đó dù làm nguội ra sao tổ chức của thép vẫn không bị biến đổi, như giản đồ pha).

+ Khi nhiệt độ nung nóng đạt đến  $Ac_1$ , phần tổ chức peclit của mọi loại thép chuyển biến thành austenit theo phản ứng:



trong khi đó ferit và xêmentit thứ hai của các thép trước và sau cùng tích chưa chuyển biến.

Vậy nếu chỉ nung nóng quá nhiệt độ  $Ac_1$  một chút ta thấy:

- Thép cùng tích đã chuyển biến hoàn toàn: có tổ chức hoàn toàn là austenit.
- Thép trước và sau cùng tích có chuyển biến nhưng chưa hoàn toàn: có tổ chức không hoàn toàn là austenit, tức có tổ chức tương ứng austenit + ferit và austenit + xêmentit thứ hai. Tuy nhiên khi nung nóng tiếp tục từ  $Ac_1$  lên đến  $Ac_3$  và  $Accm$  sẽ có quá trình hòa tan ferit và xêmentit II còn dư vào austenit, làm lượng hai pha này trong tổ chức ngày một ít đi.

+ Khi nhiệt độ nung nóng cao hơn  $Ac_3$  và  $Accm$  sự hòa tan các pha dư ferit và xêmentit II vào austenit của các thép trước và sau cùng tích cũng kết thúc và chỉ còn một pha: hoàn toàn austenit với thành phần đúng như của thép.

Trên đường GSE mọi thép đều có tổ chức  $\gamma$ .

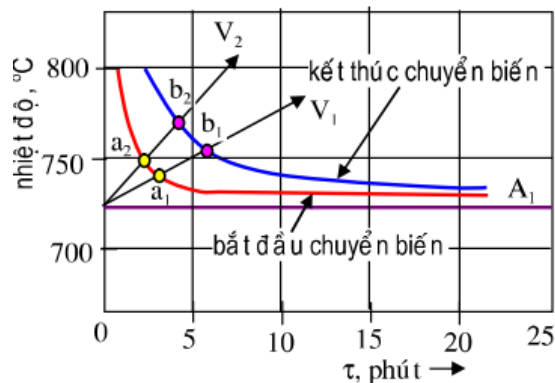
*b) Đặc điểm của chuyển biến peclit thành austenit*

**Nhiệt độ và thời gian chuyển biến:** (hình 5.3)

$V_{nung}$  càng lớn thì T chuyển biến càng nhanh

$T_{nung}$  càng cao, khoảng thời gian chuyển biến càng ngắn

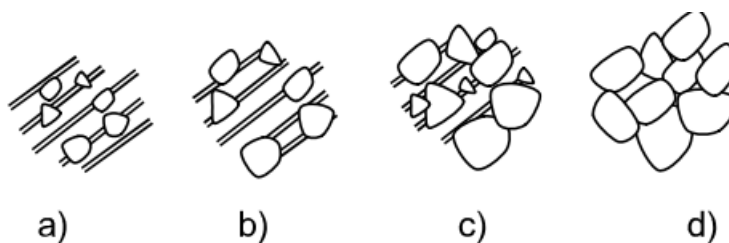
Tốc độ nung  $V_2 > V_1$ , thì nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến ở càng cao và thời gian chuyển biến càng ngắn.



Hình 5.3. Giản đồ chuyển biến đẳng nhiệt P thành  $\gamma$  của thép cùng tích

• Kích thước hạt austenit

Tuy austenit không tồn tại ở nhiệt độ thường song vẫn phải để ý đến cấp hạt của nó vì các sản phẩm tạo thành từ các hạt nhỏ austenit bao giờ cũng có độ dẻo, độ dai trội hơn so với từ hạt lớn austenit. Vì vậy thông thường trong bất kỳ trường hợp nào cũng yêu cầu phải đạt được tổ chức austenit hạt nhỏ, muốn vậy phải biết quy luật hình thành hạt austenit cũng như sự lớn lên của nó. Chuyển biến pearlit austenit cũng theo cơ chế: tạo và phát triển mầm như kết tinh. Mầm austenit được tạo nên giữa hai pha ferit và xêmentit của pearlit (hình 5.4) do bề mặt phân chia giữa chúng rất nhiều nên số mầm tạo thành cũng rất nhiều, vì thế hạt austenit lúc mới tạo thành rất nhỏ mịn (có thể nhỏ hơn cấp 8, tới cấp 9, 10 như biểu thị ở hình 5.4d) (vì austenit có 0,80% C trung gian giữa ferit - 0% C, và xêmentit - 6,67% C, nên mầm austenit chỉ có thể sinh ra ở vùng giữa hai pha cơ bản này).



Hình 5.4. Quá trình tạo mầm và phát triển mầm austenit từ pearlit (tấm)

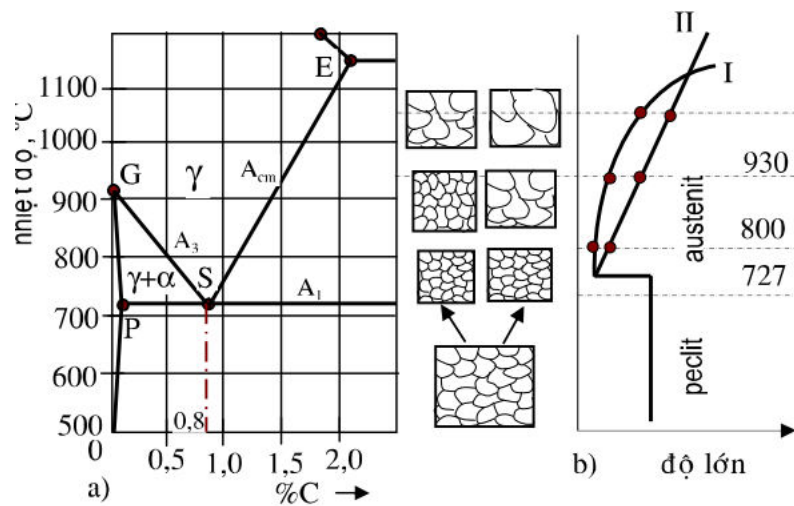
Độ hạt austenit:

Pearlit ban đầu: càng mịn  $\rightarrow$   $\gamma$  nhỏ

$V_{nung}$  càng lớn  $\rightarrow$  hạt  $\gamma$  càng nhỏ

T và  $\tau$  giữ nhiệt lớn thì hạt lớn

Theo bản chất thép: bản chất hạt lớn và bản chất hạt nhỏ (hình 5.5)



Hình 5.5. Sơ đồ phát triển hạt austenit  
I-di truyền hạt nhỏ II-di truyền hạt lớn

### 5.2.2. Mục đích của giữ nhiệt

- + Làm đều nhiệt độ trên tiết diện.
- + Để chuyển biến xảy ra hoàn toàn.
- + Làm đồng đều % của  $\gamma$ .

### 5.2.3. Các chuyển biến khi làm nguội $\gamma$

a) *Giản đồ chuyển biến đẳng nhiệt austenit quá nguội (Giản đồ T-T-T) của thép cùng tích.*

**Giản đồ T-T-T:** Nhiệt độ (T)- thời gian (T) và chuyển biến (T). Vì có dạng chữ C nên gọi là đường cong chữ “C”.

Khi  $\gamma$  bị nguội (tức thời) dưới  $727^{\circ}\text{C}$  nó chưa chuyển biến ngay được gọi là  $\gamma$  quá nguội, không ổn định. Giản đồ có 5 vùng:

- + Trên  $727^{\circ}\text{C}$  là khu vực tồn tại của  $\gamma$  ổn định.
- + Bên trái chữ "C" đầu tiên - austenit quá nguội
- + Giữa hai chữ "C" - austenit chuyển biến (tồn tại cả ba pha, F và Xe),

+ Bên phải chữ "C" thứ hai - các sản phẩm phân hóa đẳng nhiệt của austenit quá nguội là hỗn hợp ferit - xêmentit với mức độ nhỏ mịn khác nhau.

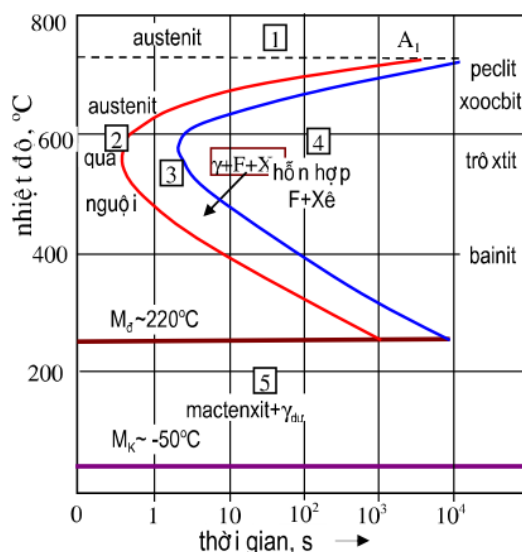
Giữ  $\gamma$  quá nguội ở sát  $A_1$ : ( $T \sim 700^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T^0$  nhỏ,  $\sim 25^\circ\text{C}$ ): Peclit (tám), HRC 10 đến 15

+ ( $T \sim 650^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T^0 \sim 75^\circ\text{C}$ ): Xoochbit tôi, HRC 25÷35

+  $T \sim$ đỉnh lồi chữ "C" (khoảng  $500^\circ\text{C} \div 600^\circ\text{C}$ ): Trôxtit, HRC 40.

+ Khi giữ austenit quá nguội ở nhiệt độ:  $\sim 450^\circ\text{C} \div 250^\circ\text{C}$ : Banit, HRC 50÷55, được coi là chuyển biến trung gian vì: F hơi quá bão hòa cacbon (0,10%), Xe là  $\text{Fe}_{2,3-3}\text{C}$ , có một lượng nhỏ  $\gamma$ (dư), trung gian (giữa P và M).

Từ peclit tám, xoochbit, troxtit cho tới bainit độ quá nguội tăng lên  $\rightarrow$  mầm càng nhiều  $\rightarrow$  tám càng nhỏ mịn hơn và độ cứng càng cao hơn.



Hình 5.6. Giản đồ T-T-T của thép cùng tích

b) Sự phân hóa  $\gamma$  khi làm nguội liên tục.

Cũng xét Giản đồ chữ "C" (hình 5.7) như chuyển biến đẳng nhiệt.

1) Với các tốc độ nguội khác nhau ta có:

$V_1$ : trên hình 5.7 ở sát  $A_1$ : austenit  $\rightarrow$  peclit tám

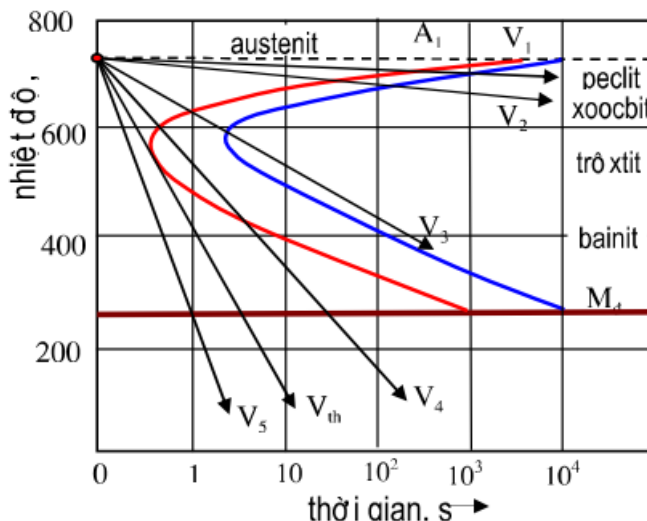
$V_2$ : làm nguội trong không khí tĩnh  $\rightarrow$  xoochbit

$V_3$ : làm nguội trong không khí nén, cắt ở phần lồi: austenit  $\rightarrow$  trôxtit

$V_4$ : làm nguội trong dầu, trôxtit mactenxit = bán mactenxit.

$V_5$ : làm nguội trong nước lạnh  $V_5$  không cắt đường cong chữ “C” nào, tức  $\gamma \rightarrow M$

Kết luận: khi làm nguội liên tục, tổ chức tạo thành phụ thuộc vào vị trí của vectơ tốc độ nguội trên đường cong chữ “C”.



Hình 5.7. Giản đồ T-T-T của thép cùng tích với  $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_{th} < V_5$

- 2) Tổ chức đạt được thường là không đồng nhất trên toàn tiết diện.
- 3) Không đạt được tổ chức hoàn toàn bainit (B) (chỉ có thể T+B hoặc T+B+M) vì nửa dưới chữ “C” lõm vào.
- 4) Những điều trên chỉ đúng với thép cacbon, thép hợp kim đường cong chữ “C” dịch sang phải do đó:

+  $V_{th}$  có thể rất nhỏ, Ví dụ: thép gió tôi trong gió.

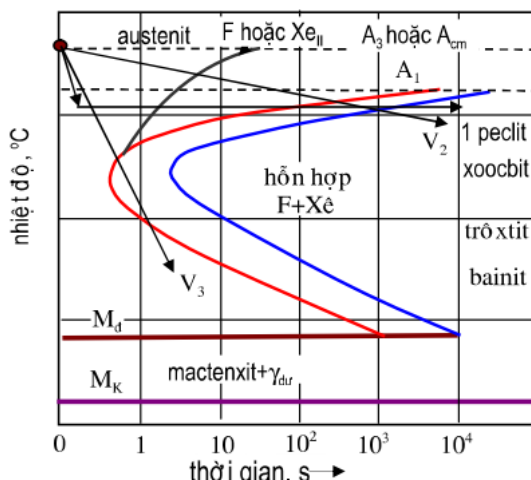
+ Tổ chức đồng nhất trên tiết diện, ngay cả đối với tiết diện lớn

c) Giản đồ T-T-T của các thép khác cùng tích

+ Thép trước và sau cùng tích, có thêm nhánh phụ (hình 5.8) biểu thị sự tiết ra F (TCT) hoặc  $Xe_{II}$  (SCT), có thêm đường ngang  $A_3$  (TCT) hoặc  $A_{cm}$  (SCT). Ba điểm khác biệt so với thép cùng tích:

- 1- Đường cong (chữ “C” và nhánh phụ)
- 2- Khi làm nguội chậm liên tục ( $V_2$ ), austenit quá nguội sẽ tiết ra F (TCT) hoặc  $Xe_{II}$  (SCT) trước sau đó mới phân hóa ra hỗn hợp F-Xe.

3- Khi làm nguội chậm đủ nhanh  $V_3$  (hoặc  $>V_3$ ) để  $V_{ng}$  không cắt nhánh phụ, austenit quá nguội  $\rightarrow$  F-Xe dưới dạng xocbit, trôxtit, bainit.



Hình 5.8. Giản đồ T-T-T của thép khác cùng tích

**5.2.4. Chuyển biến của austenit khi làm nguội nhanh- Chuyển biến mactenxit**

(khi tôi)

Nếu  $V_{ng} > V_{th}$  thì austenit  $\rightarrow$  M gọi đó

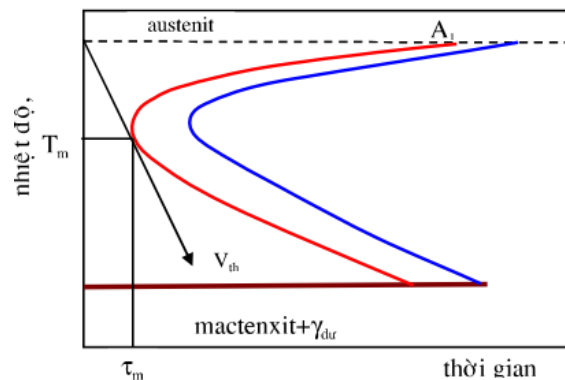
là tôi thép.

$V_{th}$ : là tốc độ nguội nhỏ nhất để gây ra chuyển biến mactenxit.

$\tau_m$ : thời gian ứng với  $\gamma$  kém ổn định nhất.

$T_m$ : nhiệt độ ứng với  $\gamma$  kém ổn định nhất.

$$V_{th} = \frac{A_1 - T_m}{\tau_m}$$



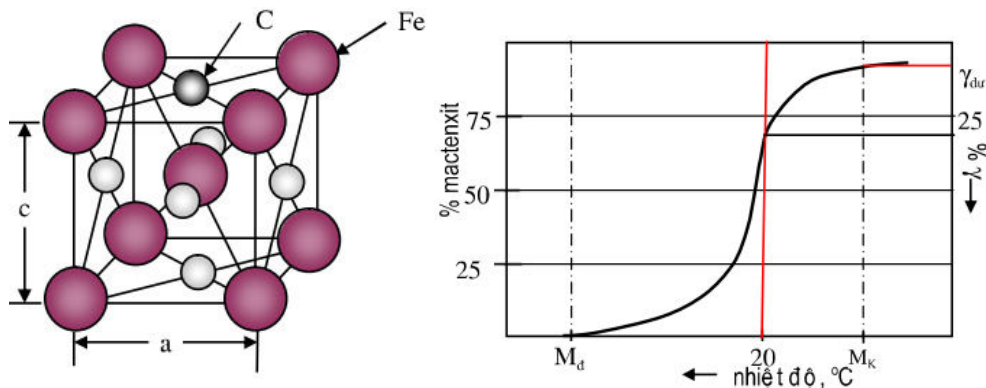
Hình 5.9. Giản đồ T-T-T và tốc độ tôi tới hạn  $V_{th}$

a) Bản chất của mactenxit

**Định nghĩa:** M là dung dịch rắn quá bão hòa của C trong  $Fe_\alpha$

**Đặc điểm:** vì quá bão hòa C  $\rightarrow$  mạng chính phương tâm khối hình 5.10.

Độ chính phương  $c/a = 1,001 \div 1,06 \rightarrow$  xô lệch mạng rất lớn  $\rightarrow$  M rất cứng.



Hình 5.10. Ô cơ sở của mạng tinh thể Hình 5.11. Đường cong động học

b) Các đặc điểm của chuyển biến mactenxit

- 1) Chỉ xảy ra khi làm nguội nhanh liên tục austenit với tốc độ  $>V_{th}$ .
- 2) Chuyển biến không khuếch tán: C giữ nguyên vị trí, Fe: từ  $\gamma(A_1) \rightarrow M$  (gần như  $A_2$ )
- 3) Xảy ra với tốc độ rất lớn, tới hàng nghìn m/s.
- 4) Chỉ xảy ra trong khoảng giữa  $M_d$  và kết thúc  $M_k$ .  $M_d$  và  $M_k$  không phụ thuộc vào  $V_{nguoi}$ .
- 5) Chuyển biến này xảy ra không hoàn toàn vì hiệu ứng tăng thể tích gây lực nén lên  $\gamma \rightarrow$  không thể chuyển biến,  $\gamma$  không chuyển biến được gọi là  $\gamma$  dư. Điểm  $M_k$  thường thấp ( $<20^0C$ ) có khi rất thấp (ví dụ  $-100^0C$ )  $\rightarrow$  lượng  $\gamma$  dư có thể (20÷30%). Tỷ lệ  $\gamma$  dư phụ thuộc vào các yếu tố sau:

+ Điểm  $M_k$ :  $M_k$  càng thấp dưới  $20^0C$  lượng dư  $\gamma$  càng nhiều:  $M_k$  giảm khi tăng lượng nguyên tố hợp kim trong  $\gamma$ .

+ % C tăng  $\rightarrow \Delta V \uparrow \rightarrow \gamma$  dư càng nhiều.

c) Cơ tính của mactenxit

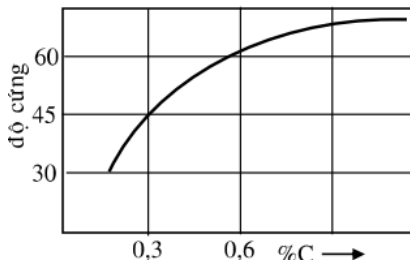
Độ cứng (Hình 5.12) % C  $\uparrow \rightarrow$  độ cứng tăng do đó:

Thép ít cacbon: % C  $\leq 0,25\%$ , độ cứng sau tôi  $\leq$  HRC40.

Thép C trung bình: % C = 0,40% ÷ 0,50%, độ cứng sau tôi tương đối cao, HRC  $\geq 50$ .

Thép C cao: % C  $\geq 0,60\%$ , độ cứng sau tôi, HRC  $\geq 60$ .

Chỉ có thép  $\geq 0,40\%$  tôi mới tăng tính chịu mòn.



Hình 5.12. Độ cứng tôi phụ thuộc vào % C

Chú ý: phân biệt độ cứng của M và độ cứng của thép tôi: độ cứng của thép tôi là độ cứng tổng hợp của M tôi +  $\gamma$  dư + cacbit ( $Xe_{II}$  nếu có). Thường  $\gamma$  dư làm giảm độ cứng của thép tôi,  $\gamma > 10\%$  làm giảm 3-5 HRC (cá biệt tới 10 HRC),  $\gamma$  vài %  $\rightarrow$  không đáng kể.

Tính giòn: là nhược điểm của M làm hạn chế sử dụng, tính giòn phụ thuộc vào:

- + Kim M càng nhỏ tính giòn càng thấp  $\rightarrow$  làm nhỏ hạt  $\gamma$  khi nung thì tính giòn  $\downarrow$ .
- + Ứng suất bên trong càng nhỏ tính giòn càng thấp.

Dùng thép bản chất hạt nhỏ, nhiệt độ tôi và phương pháp tôi thích hợp để giảm ứng suất bên trong như tôi phân cấp, đẳng nhiệt và ram ngay tiếp theo.

### 5.2.5. Chuyển biến khi nung nóng thép đã tôi (khi ram)

**Định nghĩa:** ram nung nóng thép sau khi tôi để điều chỉnh độ cứng và tính chất phù hợp với yêu cầu.

a) Tính không ổn định của mactenxit và austenit

Tổ chức thép tôi là M +  $\gamma$  dư: khi nung nóng



M và  $\gamma$  dư không chuyển biến ngay thành hỗn hợp F-Xe mà phải qua tổ chức trung gian là M ram theo sơ đồ:  $(M + \gamma \text{ dư}) \rightarrow M_{\text{ram}} \rightarrow F - Xe$

b) Các chuyển biến xảy ra khi ram

Thép cùng tích (0,80%C): tổ chức M và  $\gamma$  dư, quá trình chuyển biến khi ram:

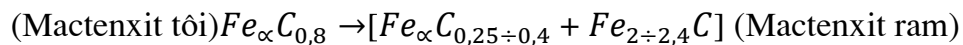


**Giai đoạn I (T < 200°C)**

- Nhỏ hơn 80°C trong thép tôi chưa có chuyển biến gì, tức vẫn có mactenxit + austenit dư.

- Từ 80°C đến 200°C: austenit dư chưa chuyển biến, chỉ có mactenxit chuyển biến bằng cách cacbon trong nó tập trung lại, tiết ra ở dạng các phần tử cacbit  $\epsilon$  với công thức  $Fe_xC$  (x thay đổi trong phạm vi 2,0 ÷ 2,4) ở dạng tấm mỏng và rất phân tán, lượng cacbon còn lại trong mactenxit giảm đi từ 0,80% xuống còn khoảng 0,25 ÷ 0,40% với tỷ số c/a giảm đi. Hỗn hợp mactenxit ít cacbon và cacbit  $\epsilon$  đó được gọi là mactenxit ram [giữa hai pha trên có cấu trúc liên mạng]

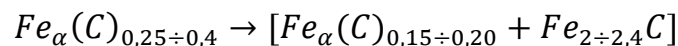
Có thể trình bày chuyển biến trong giai đoạn này dưới dạng sơ đồ sau:



Vậy cuối giai đoạn này thép tôi có tổ chức **mactenxit ram** và **austenit dư**.

**Giai đoạn II (T = 200 ÷ 260°C)**

Tiếp tục tiết C khỏi M xuống còn khoảng 0,15 ÷ 0,20%



$\gamma$  dư thành M ram:  $(\gamma \text{ dư}) Fe_{\gamma}(C)_{0,8} \rightarrow [Fe_{\alpha}(C)_{0,15 \div 0,20} + Fe_{2 \div 2,4}C] (\text{M ram})$

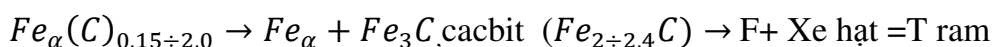
M ram là tổ chức có độ cứng thấp hơn M tôi, song lại ít giòn hơn do giảm được ứng suất.

Độ cứng thứ II: Một số thép sau khi tôi có lượng  $\gamma$  dư lớn (hàng chục %), khi ram  $\gamma$  dư thành M ram mạnh hơn hiệu ứng giảm độ cứng do C tiết ra khỏi dung dịch rắn → độ cứng thứ II.

**Giai đoạn III (T = 260 ÷ 400°C)**

Sau giai đoạn II thép tôi có tổ chức M ram gồm hai pha: M nghèo C (0,15 ÷ 0,20%) và cacbit  $\epsilon$  ( $Fe_{2-2,4}C$ ) → Xe ( $Fe_3C$ ) ở dạng hạt.

Sơ đồ chuyển biến:



- Độ cứng: giảm còn (HRC 45 với thép cùng tích).

- Mất hoàn toàn ứng suất bên trong, tăng mạnh tính đàn hồi.

**Giai đoạn IV (T >400°C)**

- T > 400°C xảy ra quá trình kết tụ (sát nhập, lớn lên) của Xe hạt.
- ở 500 ÷ 650°C: được hỗn hợp F-Xe = X ram, có giới hạn chảy cao và độ dai va đập tốt nhất.
- ở gần A<sub>1</sub> (727°C): được hỗn hợp F-Xe hạt thô hơn peclit hạt.

**Kết luận:** ram là quá trình phân hủy M, làm giảm độ cứng, giảm ứng suất bên trong sau khi tôi, tùy thuộc vào nhiệt độ ram có thể đạt được cơ tính khác nhau phù hợp với yêu cầu sử dụng.

**5.3. Ủ và thường hóa thép**

**Định nghĩa:** là các phương pháp thuộc nhóm nhiệt luyện sơ bộ, tạo độ cứng, tổ chức thích hợp cho gia công (cắt, dập nguội, nhiệt luyện) tiếp theo.

**5.3.1. Ủ thép**

*a) Định nghĩa và mục đích*

**Định nghĩa:** là các phương pháp nung nóng thép đến nhiệt độ nhất định ( từ 200°C ÷ trên 1000°C), giữ nhiệt lâu rồi làm nguội cùng lò để đạt được tổ chức cân bằng ổn định (theo giản đồ pha Fe-C) với độ cứng thấp và độ dẻo dai cao.

Hai nét đặc trưng của ủ: nhiệt độ không có quy luật tổng quát và làm nguội với tốc độ chậm để đạt tổ chức cân bằng.

**Mục đích:** được một số trong 5 mục đích sau:

- 1) làm mềm thép để dễ tiến hành gia công cắt
- 2) tăng độ dẻo để dễ biến dạng (dập, cán, kéo) nguội
- 3) giảm hay làm mất ứng suất gây nên bởi gia công cắt, đúc, hàn, biến dạng dẻo,
- 4) đồng đều thành phần hóa học trên vật đúc loại bị thiên tích
- 5) làm nhỏ hạt thép

Phân loại: ủ được phân làm 2 nhóm ủ có chuyển pha và không có chuyển biến pha.

*b) Các phương pháp ủ không có chuyển biến pha*

**Đặc điểm:** T (nhiệt độ) ủ thấp hơn A<sub>1</sub> nên không có chuyển biến P → γ. Chia thành 2 phương pháp:

+ ủ thấp:  $T=200\div 600^{\circ}\text{C}$ , mục đích làm giảm hay bỏ ứng suất.

+ ủ kết tinh lại:  $T > T_{\text{ktl}}$  để khôi phục tích chất sau biến dạng.

c) Các phương pháp ủ có chuyển biến pha

Thường gặp,  $T > A_1$ ,  $P \rightarrow \gamma$ , nhỏ hạt. Chia làm 3 phương pháp:

**Ủ hoàn toàn:** áp dụng cho thép trước cùng tích  $\%C = 0,3\div 0,65\%$ ,  $T_u^0 = A_3 + (20 \div 30^{\circ}\text{C})$ . Mục đích: làm nhỏ hạt, giảm độ cứng và tăng độ dẻo để dễ cắt gọt và dập nguội ( $160\div 200\text{HB}$ ).

**Ủ không hoàn toàn và ủ cầu hóa:** áp dụng cho thép dụng cụ  $\%C = \geq 0,70\%$ ,  $A_1 < T < A_{\text{cm}}$ .

$T_u^0 = A_1 + (20 \div 30^{\circ}\text{C}) = 750 \div 760^{\circ}\text{C}$ , Tổ chức: peclit hạt, HB < 220 để gia công cắt hơn, không áp dụng cho thép trước cùng tích có  $C \leq 0,65\%$  vì ảnh hưởng xấu đến độ dai.

**Ủ đẳng nhiệt:** dùng cho thép hợp kim cao do  $\gamma$  quá nguội có tính ổn định quá lớn nên dù làm nguội chậm cùng lò cũng không đạt được tổ chức peclit mà là P-X, X, X-T..nên không đủ mềm để gia công cắt  $\rightarrow$  ủ đẳng nhiệt:  $T = A_1 - 50^{\circ}\text{C}$  (xác định theo giản đồ T-T-T của chính thép đó) để nhận được tổ chức peclit.

**Ủ khuếch tán:** T rất cao  $1100\div 1150^{\circ}\text{C}$ -(10÷15h) để khuếch tán làm đều thành phần.

Lĩnh vực áp dụng: thép hợp kim cao khi đúc bị thiên tích  $\rightarrow$  hạt to  $\rightarrow$  cán nóng hoặc ủ nhỏ hạt

Chú ý: ủ có chuyển biến pha, chỉ cần làm nguội trong lò đến  $600\div 650^{\circ}\text{C}$ , lúc đó sự tạo thành peclit đã hoàn thành, cho nguội ngoài không khí và nạp mẻ khác vào ủ tiếp.

### 5.3.2. Thường hóa thép

a) Định nghĩa: là nung thép đến trạng thái hoàn toàn austenit ( $>A_3$  hay  $A_{\text{cm}}$ ), giữ nhiệt rồi làm nguội tiếp theo trong không khí tĩnh, độ cứng tương đối thấp (nhưng cao hơn ủ một chút).

- Nhiệt độ: giống như ủ hoàn toàn nhưng được áp dụng cho cả thép sau cùng tích:

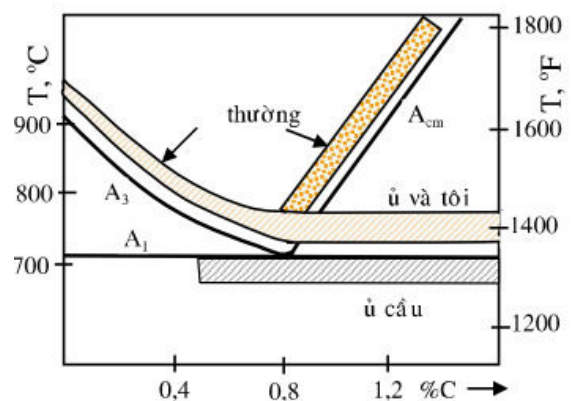
TCT:  $T_{th}^0 = A_{c3} + (30 \div 50^{\circ}\text{C})$ , SCT:  $T_{th}^0 = A_{\text{cm}} + (30 \div 50^{\circ}\text{C})$

- Tốc độ nguội: nhanh hơn đôi chút nên kinh tế hơn ủ.
- Tổ chức và cơ tính: tổ chức đạt được là gần cân bằng với độ cứng cao hơn ủ đôi chút.

*b) Mục đích và lĩnh vực áp dụng*

- Đạt độ cứng thích hợp cho gia công cơ:
  - + thép  $\leq 0,25\%C$  – phải thường hóa,
  - + thép  $0,30 \div 0,65 \%$  - phải ủ hoàn toàn
  - + thép  $\geq 0,70\% C$  – phải ủ hoàn toàn (ủ cầu hóa).

- Làm nhỏ hạt xementit: chuẩn bị cho nhiệt luyện kết thúc. Thường áp dụng cho các thép kết cấu trước khi tôi (thể tích và bề mặt).
- Làm mất lưới xementit II của thép sau cùng tích  $\rightarrow$  thép đỡ giòn, gia công được bóng hơn.



Hình 5.13. Khoảng nhiệt độ ủ, thường hóa và tôi cho thép cacbon

**5.4. Tôi thép**

**5.4.1. Định nghĩa và mục đích**

**Định nghĩa:** Tôi là phương pháp nung thép lên cao quá nhiệt độ tới hạn A<sub>1</sub> để đạt phay giữ nhiệt rồi làm nguội nhanh thích hợp để tạo thành M hay các tổ chức không ổn định khác với độ cứng cao.

**Mục đích:**

- 1) Tăng độ cứng để chống mài mòn tốt nhất (ram thấp): dụng cụ (cắt, biến dạng nguội), phụ thuộc % C:

$$C \leq 0,35\% - \leq \text{HRC } 50, \quad C = 0,40 \div 0,65\% - \text{HRC } 52 \div 58,$$

$$C = 0,70 \div 1,00\% - \text{HRC } 60 \div 64, \quad C = 1,00 \div 1,50\% - \text{HRC } 65 \div 66$$

2) Nâng cao độ bền và sức chịu tải của chi tiết máy, áp dụng cho thép C= 0,15-0,65%.

3) Tôi+ ram trung bình thép đàn hồi (0,55÷0,65)% C.

Tôi+ram cao → thép có cơ tính tổng hợp cao nhất (thép 0,30÷0,5)%C.

#### 5.4.2. Chọn nhiệt độ tôi thép

a) Đối với thép TCT (<0,80%C):  $T_{\text{tôi}} = A_3 + (30 \div 50^\circ\text{C}) \rightarrow M + \text{ít } \gamma_{\text{dur}}$

b) Đối với thép CT và SCT ( $\geq 0,80\%C$ ):  $T_{\text{tôi}} = A_1 + (30 \div 50^\circ\text{C}) \approx 760 \div 780^\circ\text{C} \rightarrow M + \text{ít } \gamma_{\text{dur}} + X_{eII}$ .

c) Lý do chọn nhiệt độ tôi:

+ Thép TCT,  $T < A_3$  còn F là pha mềm gây ra điểm mềm ảnh hưởng xấu tới độ bền, độ bền mỏi và tính chống mài mòn.

+Thép SCT,  $T > A_{cm} \rightarrow$  hàm lượng C trong  $\gamma$  cao quá dễ sinh  $\gamma_{\text{dur}}$  nhiều, hạt lớn  $A_1 < T_{\text{tôi}} < A_{cm}$  sau tôi được M+ lưới  $X_{eII}$  + ít  $\gamma$  dư nhiều  $\rightarrow$  chống mài mòn tốt

d) Đối với thép hợp kim: cũng dựa vào GDP Fe-C để tham khảo nhiệt độ tôi, 2 trường hợp:

+ Thép hợp kim thấp (ví dụ 0,40%C +1,00% Cr),  $T_{\text{tôi}}$  thép 0,40%, có lấy tăng lên 1,1-1,2 lần.

+ Thép hợp kim trung bình và cao: tra trong các sách tra cứu và sổ tay kỹ thuật.

#### 5.4.3. Tốc độ tôi tới hạn và độ thấm tôi

Tốc độ tôi tới hạn của thép càng nhỏ càng dễ tôi, tạo ra độ cứng cao (cả sâu trong lõi) đồng thời với biến dạng nhỏ và không bị nứt.

a) Các yếu tố ảnh hưởng đến độ tôi tới hạn:

-Thành phần hợp kim của  $\gamma$ : quan trọng nhất,  $\gamma$  càng giàu nguyên tố hợp kim (trừ Co) đường cong chữ “C” càng dịch sang phải,  $V_{th}$  càng nhỏ: (2 ÷ 3)% ntkh  $V_{th} \approx 100^\circ\text{C/s}$ , (5 ÷ 7)% nthk  $V_{th} \approx 25^\circ\text{C/s}$ .

- Sự đồng nhất của  $\gamma$ :  $\gamma$  càng đồng nhất càng dễ biến thành M ( $\gamma$  không đồng nhất, vùng giàu C dễ biến thành Xe, vùng nghèo C dễ biến thành F)  $\rightarrow T_{\text{tôi}} \uparrow \rightarrow \gamma$  đồng nhất  $\rightarrow V_{th}$  giảm.

- Các phần tử rắn chưa tan hết vào  $\gamma$ : thúc đẩy tạo thành hỗn hợp F-Xe, làm tăng  $V_{th}$ .

- Kích thước hạt  $\gamma$  càng lớn, biên giới hạt càng ít, càng khó tạo thành hỗn hợp F-Xe,  $V_{th}$  giảm.

*b) Độ thấm tôi*

**Định nghĩa:** là chiều sâu lớp tôi cứng có tổ chức 1/2M+1/2T.

Cách xác định: bằng thí nghiệm tôi dầu mút

**Các yếu tố ảnh hưởng:**

$V_{th}$ : càng nhỏ độ thấm tôi càng cao,  $V_{th} < V_{lõi}$  tôi thấu, các yếu tố làm giảm  $V_{th} \rightarrow$  tăng  $\delta$ . Tốc độ làm nguội: nhanh  $\rightarrow$  tăng  $\delta$  nhưng dễ gây nứt, biến dạng.

Ý nghĩa: biểu thị khả năng hóa bền của thép bằng tôi + ram, đúng hơn là biểu thị tỷ lệ tiết diện của chi tiết được hóa bền nhờ tôi+ ram.

Thép có độ thấm tôi càng cao được coi là chất lượng càng tốt,

Mỗi mác thép có  $\delta$  xác định do đó nên dùng cho các chi tiết có kích thước nhất định để có thể tôi thấu.

*c) Đánh giá độ thấm tôi*

Hình 5.14 trình bày dải thấm tôi của thép với cùng lượng cacbon là 0,40%, ở đây độ thấm tôi được tính vùng nửa 1/2M + 1/2T.

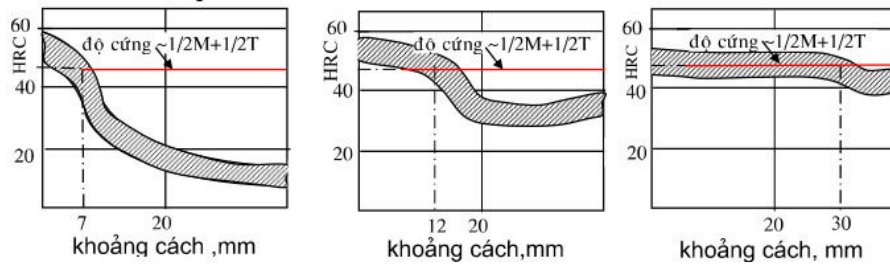
+ Thép cacbon,  $\delta$  trung bình chỉ khoảng 7mm, nếu thêm 1,00%Cr là 12mm, còn thêm 0,18% Mo nữa tăng lên đến 30mm.

+ Để tăng mức độ đồng đều cơ tính trên tiết diện, trước khi đem chế tạo các bánh răng quan trọng người ta phải kiểm tra lại  $\delta$  của mác thép mới định dùng.

+ Ngược lại: còn có yêu cầu hạn chế độ thấm tôi để bảo đảm cứng bề mặt lõi vẫn dẻo dai.

*d) Tính thấm tôi và tính cứng:*

Tính tôi cứng là khả năng độ cứng cao nhất khi tôi, % C càng cao tính tôi cứng càng lớn. Tính thấm tôi là khả năng đạt chiều dày lớp tôi cứng lớn nhất, %nthk càng cao tính thấm tôi càng lớn.



a. 0,40%,                      b. 0,40%C +1,00%Cr                      c. 0,40%C+1,00%Cr+0,18%Mo

Hình 5.14. Khả năng tôi cứng của một số loại thép

### 5.5. Ram thép

Ram thép là nguyên công bắt buộc khi tôi thép thành M.

#### 5.5.1. Mục đích và định nghĩa

a) *Trạng thái của thép tôi thành M*: cứng, rất giòn, kém dẻo, dai với ứng suất bên trong lớn.

Mục đích của ram: giảm ứng suất, điều chỉnh cơ tính cho phù hợp với điều kiện làm việc quy định.

b) *Định nghĩa*: là nung nóng thép đã tôi đến các nhiệt độ thấp hơn  $A_{c1}$ , để M và  $\gamma$  dư phân hóa thành các tổ chức có cơ tính phù hợp với điều kiện làm việc quy định.

#### 5.5.2. Các phương pháp ram thép cacbon

a) *Ram thấp* ( $150 \div 250^{\circ}\text{C}$ ): tổ chức đạt được là M ram, độ cứng cao, tính dẻo, dai tốt hơn, áp dụng cho dụng cụ, các chi tiết cần độ cứng và tính chống mài mòn cao như: dao cắt, khuôn dập nguội, bánh răng, chi tiết thấm cacbon, ổ lăn, trục, chốt...

b) *Ram trung bình* ( $300 \div 450^{\circ}\text{C}$ ): tổ chức đạt được là T ram.

Sau ram trung bình độ cứng giảm đi rõ rệt, nhưng vẫn còn khá cao, giới hạn đàn hồi lớn, áp dụng cho chi tiết máy, dụng cụ cần độ cứng tương đối cao và đàn hồi như khuôn dập nóng, khuôn rèn, lò xo, nhíp...

c) *Ram cao* ( $500 \div 650^{\circ}\text{C}$ ): tổ chức đạt được là X ram.

Cơ tính tổng hợp cao nhất, nhiệt luyện hóa tốt. So sánh cơ tính của thép sau ram cao với các dạng nhiệt luyện khác bảng 5.2.

\* Áp dụng cho các chi tiết máy cần giới hạn bền, đặc biệt là giới hạn chảy và độ dai va đập cao như các loại trục, bánh răng làm bằng thép chứa  $0,30\% \div 0,50\%C$ ; đạt độ bóng cao khi gia công.

\* Giới hạn nhiệt độ phân chia các loại ram trên chỉ là tương đối, chỉ phù hợp cho thép cacbon với thời gian giữ nhiệt khoảng 1 giờ.

Ngoài ba phương pháp ram trên còn phải phân biệt ram màu và tự ram.

*d) Ram màu và tôi tự ram:*

Ram ở  $200 \div 350^{\circ}C$ , trên mặt thép xuất hiện lớp oxyt mỏng với chiều dày khác nhau có màu sắc đặc trưng như: vàng ( gần  $0,045 \mu m$ ) ở  $220 \div 240^{\circ}C$ , nâu ( $0,050 \mu m$ ) ở  $255 \div 265^{\circ}C$ , tím ( $0,065 \mu m$ ) ở  $285 \div 295^{\circ}C$ , xanh ( $0,07 \mu m$ ) ở  $310 \div 320^{\circ}C$ . Nhờ đó dễ dàng xác định nhiệt độ ram thấp mà không cần dụng cụ đo nhiệt.

Tôi tự ram có các đặc điểm: nhanh, đơn giản, tiện dùng, phải có kinh nghiệm

*e) Ảnh hưởng của thời gian ram:* thường (1 ÷ 2) giờ. Chú ý là sau khi tôi nên ram ngay để vừa tránh nứt xảy ra sau khi tôi vừa tránh hiện tượng ổn định hóa  $\gamma$  dư.

## 5.6. Các khuyết tật xảy ra khi nhiệt luyện thép

### 5.6.1. Biến dạng và nứt

*a) Nguyên nhân và tác hại:* do ứng suất sinh ra khi nguội làm thép bị biến dạng cong vênh, nứt. Nói chung khó tránh khỏi nhưng tìm cách hạn chế.

*b) Ngăn ngừa:*

- Nung nóng và đặc biệt làm nguội với tốc độ hợp lý.
- Nung nóng và làm nguội các trục dài: khi nung treo thẳng đứng để tránh khi làm nguội phải nhúng thẳng đứng, phần dày xuống trước.
- Nên dùng tôi phân cấp, hạ nhiệt trước khi tôi, với các vật mỏng phải tôi trong khuôn ép.

*c) Khắc phục:* biến dạng, cong vênh với một số dạng chi tiết như trục dài, tấm có thể đem nắn, ép nóng hoặc nguội. Còn khi bị nứt thì không sửa được.



**5.6.2. Oxy hóa và thoát cacbon**) *Nguyên nhân và tác hại:* do trong môi trường nung có chứa chất oxy hóa Fe và C: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, hơi nước..., khi oxy hóa thường đi kèm với thoát cacbon.

Tác hại của oxy hóa: làm hạt kích thước, xấu bề mặt sản phẩm, thoát cacbon làm giảm độ cứng khi tôi.

*b) Ngăn ngừa:*

-Khí quyển bảo vệ: CO<sub>2</sub>/CO, H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub><P<sub>th</sub> gây oxy hóa.

-Khí quyển trung tính: N,Ar,...

-Nung trong lò chân không: 10<sup>-2</sup>÷10<sup>-4</sup> at có khả năng chống oxy hóa và thoát cacbon một cách tuyệt đối cho mọi loại thép và hợp kim. Có thể:

- Rải than hoa trên đáy lò hay cho chi tiết vào hộp phủ than lắng phí vì kéo dài thời gian nung

- Lò muối được khử oxy triệt để bằng than, fero silic. Cách này chỉ áp dụng cho chi tiết nhỏ, năng suất thấp.Được áp dụng rộng rãi khi tôi dao cắt.

*c) Khắc phục:* Phải đủ lượng dư để hút bỏ đi hoặc đem thấm cacbon.

### **5.6.3. Độ cứng không đạt**

*a) Độ cứng quá cao:* sau khi ủ và thường hóa thép hợp kim, do tốc độ nguội lớn → ủ lại.

*b)Độ cứng quá thấp:* Nhiệt độ tôi chưa đủ cao, thời gian giữ nhiệt ngắn. Làm nguội không đủ nhanh theo yêu cầu đề ra để tạo nên M. Thoát cacbon bề mặt,..khắc phục.

### **5.6.4. Tính giòn cao**

Sau khi tôi, độ cứng vẫn ở bình thường mà thép lại quá giòn (rơi vỡ).Nguyên nhân là nhiệt độ tôi quá cao (gọi là quá nhiệt), hạt thép bị lớn. Khắc phục: thường hóa rồi tôi lại, tăng biến dạng.

### **5.6.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ và tầm quan trọng của kiểm nhiệt**

*a) Ảnh hưởng của nhiệt độ:* là yếu tố quyết định nhất chất lượng nhiệt luyện.

*b) Kiểm tra nhiệt độ nung:* bằng các dụng cụ đo nhiệt:

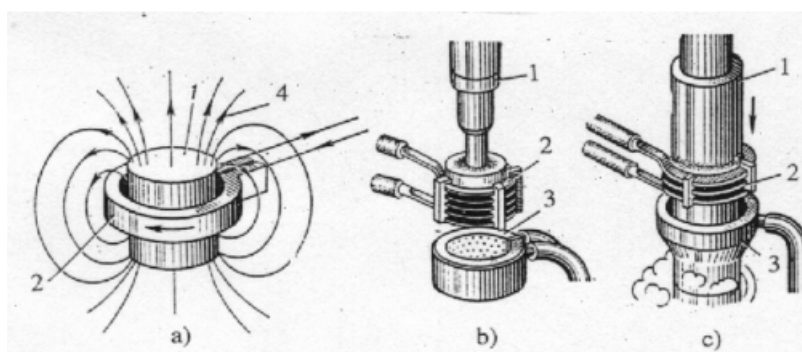
- Dưới  $400 \div 500^{\circ}\text{C}$  dùng nhiệt kế thủy ngân,  $< 1600^{\circ}\text{C}$  dùng cặp nhiệt ÷ đồng hồ (milivon kế).

Ước lượng bằng mắt: Màu đỏ  $700 \div 830^{\circ}\text{C}$ , da cam  $850 \div 900^{\circ}\text{C}$ , vàng  $1050 \div 1250^{\circ}\text{C}$ , trắng  $-1250^{\circ}\text{C} \div 1300^{\circ}\text{C}$ . Tất nhiên cách này kém chính xác và đòi hỏi phải có kinh nghiệm.

## 5.7. Hóa bền bề mặt

### 5.7.1. Tôi bề mặt nhờ nung nóng bằng cảm ứng điện (tôi cảm ứng)

a) Nguyên lý nung nóng bề mặt (hình 5.15)



a) Sơ đồ nung cảm ứng    b) Tôi khi nung nóng toàn bộ

c) Tôi khi nung nóng và làm nguội liên tục

1. Chi tiết tôi    2. Vòng cảm ứng    3. Vòng phun nước

4. Đường sức từ trường

Hình 5.15. Nung nóng và tôi cảm ứng

Chiều sâu nung  $\Delta$  xác định theo công thức  $\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ cm}$

Trong đó:  $\rho$ : điện trở suất ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )  $\mu$ : độ từ thông

b) Chọn tần số và thiết bị

Bánh răng chiều dày lớp tôi bằng  $(0,2 \div 0,28) M$  ( $M$  là modun răng). Khi cần lớp tôi dày ( $4 \div 5 \text{ mm}$ ): thiết bị 2500 hay 8000Hz,  $P=100 \text{ kW}$  trở lên. Lớp tôi mỏng ( $1 \div 2 \text{ mm}$ ), thiết bị tần số cao (6600 hay 25000Hz),  $p=50 \div 100 \text{ kW}$ .

c) Các phương pháp tôi

Vòng cảm ứng được uốn sao cho có dạng bao, ôm lấy phần bề mặt cần nung để tôi song không được tiếp xúc với chi tiết, có khe hở 1,5÷5,0 mm, càng nhỏ càng đỡ tổn hao. Có 3 kiểu tôi sau:

- Nung nóng rồi làm nguội toàn bề mặt như biểu thị hình 5.15.

- Nung nóng rồi làm nguội tuần tự từng phần riêng biệt: tôi từng răng cho bánh răng lớn ( $m > 6$ ) hay các cổ trục khuỷu (có máy tôi chuyên dùng điều khiển theo chương trình).

- Nung nóng và làm nguội liên tục liên tiếp: trục dài, băng máy... có thể tự ram.

*d) Tổ chức và cơ tính của thép tôi cảm ứng:*

Thép dùng:  $C = 0,35 \div 0,55\%$  (thường chỉ  $0,40 \div 0,50\%$ ), có thể hợp kim thấp

Tổ chức: nung với tốc độ rất nhanh do đó:

- Nhiệt độ chuyển biến pha  $A_1$ ,  $A_3$  nâng lên, do vậy nhiệt độ tôi cao hơn  $100 \div 200^\circ\text{C}$ .

- Tốc độ chuyển biến pha rất nhanh, thời gian chuyển biến ngắn, nhận được siêu M rất dẻo dai.

Tôi cảm ứng thường được áp dụng cho các chi tiết :

+ Chịu tải trọng tĩnh và va đập cao, chịu mài mòn ở bề mặt như bánh răng, chốt...

+ Chi tiết chịu mỏi cao, chịu uốn, xoắn lớn: trục truyền, trục...

*e) Ưu việt*

- Năng suất cao, do thời gian nung ngắn vì chỉ nung lớp mỏng ở bề mặt và nhiệt được tạo ngay trong lớp kim loại.

- Chất lượng tốt, tránh được các khuyết tật: oxy hóa, thoát cacbon, chất lượng đồng đều, kết quả ổn định. Độ cứng cao hơn so với tôi thường khoảng 1-3 đơn vị HRC gọi là siêu độ cứng.

- Dễ tự động hóa, cơ khí hóa, thích hợp cho sản xuất hàng loạt.

*f) Nhược điểm:* khó áp dụng cho các chi tiết có hình dáng phức tạp, tiết diện thay đổi đột ngột... do khó chế tạo vòng cảm ứng thích hợp.

## Chương 6. THÉP VÀ GANG

Các hợp kim trên cơ sở của sắt chiếm tỷ lệ áp đảo trong vật liệu kim loại, có tỷ lệ lớn trong vật liệu nói chung và được dùng rất phổ biến trong kỹ thuật, trong lĩnh vực cơ khí... Trong các hợp kim của Fe-C trong chương này chỉ đề cập đến thép và gang, là loại rất thường gặp thích ứng với nhiều mục đích sử dụng khác nhau. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Phân biệt giữa thép và gang.
- + Tính chất, tác dụng của cacbon và từng nguyên tố trong thép và gang.
- + Các loại nhóm, phân nhóm, các mác điển hình của thép và gang. Công dụng của từng loại thép và gang.

### 6.1. Khái niệm chung về Thép và Gang

#### 6.1.1 Khái niệm chung thép C

a) *Khái niệm:* Thép C là hợp kim của Fe và C với một số nguyên tố phi kim với hàm lượng như sau: **C ≤ 2,14%, Mn ≤ 0,80%, Si ≤ 0,40%, S, P ≤ 0,05%**

b) *Thành phần hóa học và tác dụng của các nguyên tố đến tổ chức của thép.*

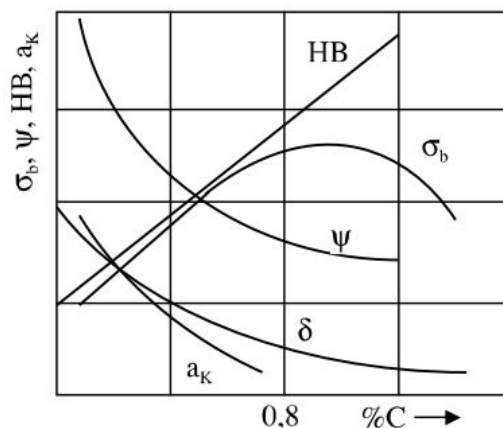
+ **Cacbon:** Là nguyên tố quan trọng quyết định tổ chức và tính chất của thép.

**Tổ chức:** C < 0,8% F+P

C = 0,8% P (F+Xe)

C > 0,8% P+Xe<sub>II</sub>

**Tính chất:** khi hàm lượng C tăng lên Xe tăng theo chúng cản trở mạnh quá trình trượt của P làm độ bền độ cứng tăng, độ dẻo, độ dai giảm.



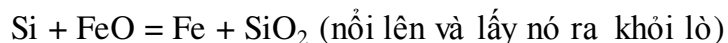
Hình 6.1. Ảnh hưởng của C đến cơ tính của thép

Các loại thép C với hàm lượng khác nhau thì sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau.

+ **Mangan:** Được đưa vào thép dưới dạng fero-Mn để khử O<sub>2</sub> và loại bỏ tác hại của FeO:  $Mn + FeO = Fe + MnO$  (xi)

Ngoài ra Mn hòa tan vào Ferit nâng cao độ bền của thép.

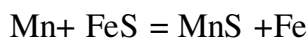
+ **Silic:** Đưa vào thép dưới dạng fero Si để khử O loại bỏ tác hại của oxit sắt.



Si còn hòa tan vào Ferit nâng cao độ bền độ cứng cho thép.

+ **Photpho**: là nguyên tố có hại vì làm thép bị giòn ở nhiệt độ thường. P gây cho thép tính giòn nguội.  $P \leq 0,05\%$

+ **Lưu huỳnh**: là nguyên tố có hại làm cho thép bị giòn nóng. Vì vậy hàm lượng S trong thép  $S \leq 0,05\%$ . Cho Mn vào để khắc phục tác hại của S.



### 6.1.2. Khái niệm chung về Gang

a) *Khái niệm*: Gang là hợp kim của Fe và C với hàm lượng C lớn hơn 2,14%, ngoài ra còn có thêm các nguyên tố Mn, Si, P, S.

b) *Thành phần hóa học*

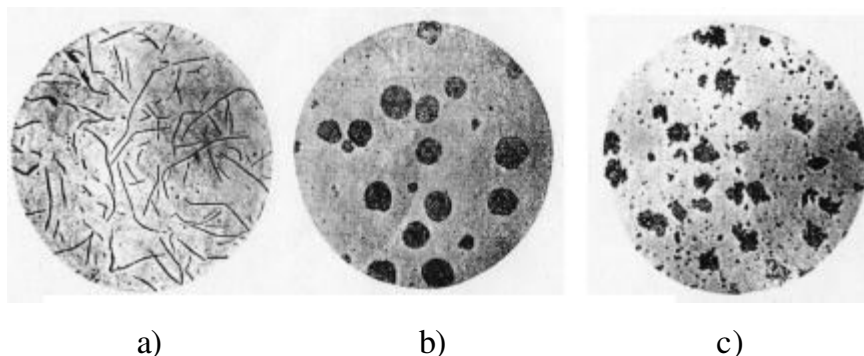
*Các loại gang thông dụng thường có thành phần:*

$$\begin{aligned} \text{C} &= 2 \div 4\% & \text{Si} &= 0,1 \div 3,5\% \\ \text{Mn} &= 0,2 \div 1,5\% & \text{P} &= 0,04 \div 0,05\% \\ \text{S} &= 0,02 \div 0,15\% \end{aligned}$$

c) *Tổ chức tế vi*

+ Gang trắng là loại gang có tổ chức tế vi hoàn toàn tương ứng Fe-C, C hoàn toàn liên kết Fe dưới dạng xementit.

+ Các loại gang graphit là loại gang mà phần lớn tổ chức tế vi nằm dưới dạng tự do graphit mặt gãy của nó có màu xám đỏ là gang xám. Tùy theo hình dáng graphit có các loại gang xám, gang dẻo, gang cầu.



Hình 6.2. Dạng graphit trong gang xám (a) gang cầu (b) gang dẻo (c)

## 6.2. Các loại gang và công dụng

**6.2.1 Gang xám:** Là loại gang mà phần lớn hay toàn bộ graphit của nó ở dạng tấm, phiến, chuỗi. Mặt gãy của nó là màu của tổ chức graphit.

### 6.2.1.1. Thành phần hóa học

a) *Cacbon:* Lượng cacbon càng nhiều nhiệt độ chảy của gang càng thấp, nhưng sẽ làm cho graphit tăng lên cơ tính sẽ càng thấp. Lượng cacbon từ 2,8 đến 3,5 %.

b) *Silic:* là nguyên tố hợp kim quan trọng nhất trong gang xám silic càng nhiều việc tạo thành graphit càng dễ dàng 1,5 ÷ 3 %.

c) *Mangan:* là nguyên tố cản trở việc tạo thành graphit nhưng có tác dụng nâng cao cơ tính. Lượng mangan từ 0,5 ÷ 1 %.

d) *Phot pho:* tác dụng làm tăng độ chảy loãng và nâng cao tính chống mài mòn cho gang. Vì lượng photpho từ 0,1 ÷ 0,2%.

e) *Lưu huỳnh:* là nguyên tố có hại vì làm giảm độ chảy loãng của gang và cản trở quá trình tạo graphit, lượng P từ 0,08 ÷ 0,21%.

### 6.2.1.2. Tổ chức tế vi

Nó được chia làm 2 loại: nền kim loại cơ bản và graphit tấm. Tùy theo mức độ graphit mà gang xám có 3 loại:

a) *Gang xám pherit:* gồm nền kim loại là sắt nguyên chất kỹ thuật (ferit) và graphit có độ bền thấp nhất.

b) *Gang xám peclit – pherit:* nền kim loại là thép trước cùng tích và graphit, lượng cacbon trong nền kim loại nhỏ hơn 0,8%.

c) *Gang xám peclit:* nền kim loại là thép cùng tích và graphit, lượng cacbon trong nền kim loại là 0,8% loại gang này có độ bền cao nhất.



a) *ferit*

b) *peclit-ferit*

c) *peclit*

Hình 6.3. Tổ chức tế vi của các loại gang xám

### 6.2.1.3. Cơ tính và biện pháp nâng cao cơ tính

a) *Cơ tính*: Do có graphit dạng tấm nên làm giảm mạnh độ bền kéo của gang, chỉ bằng khoảng 1/3 đến 1/5 so với thép tương ứng. Do graphit tấm, bề mặt lớn chia cắt mạnh nền kim loại có hai đầu nhọn và nơi tập trung ứng suất. Do có graphit nên gang có khả năng giảm sát, tăng tính chống mài mòn làm tắt rung động và dao động cộng hưởng. Độ cứng thấp 150 ÷ 250 HB, phoi dễ gãy, cắt gọt tốt. Độ dẻo xấp xỉ không, không biến dạng dẻo được.

#### b) *Các biện pháp nâng cao cơ tính*

Cơ tính quyết định nền kim loại hình dáng, số lượng, kích thước của graphit trong đó nền kim loại là quyết định nhất.

- + Giảm lượng C của gang.
- + Biến tính để làm nhỏ mịn tổ chức graphit.
- + Hợp kim hóa cho thêm các nguyên tố có lợi để nâng cao độ bền nền kim loại.
- + Nhiệt luyện để tạo ra nền kim loại phù hợp.

### 6.2.1.4. Ký hiệu và công dụng

a) *Ký hiệu*: Theo TCVN 1659-75 quy định ký hiệu gang xám **GX xx-xx** hai chỉ số tiếp đó là nhóm chỉ giới hạn bền kéo và giới hạn bền uốn tối thiểu KG/ mm<sup>2</sup>.

VD: GX 15-32 có giới hạn bền kéo tối thiểu 15 KG/mm<sup>2</sup>  
có giới hạn bền uốn tối thiểu 32 KG/mm<sup>2</sup>

b) *Công dụng*: Gang xám sử dụng rộng rãi làm vỏ xe, hộp số, xemăng, bánh đà, sơ mi, ổ trượt.

### 6.2.1.5. Gang xám biến trắng

Trong thực tế hầu như không dùng gang trắng trong một số trường hợp đòi hỏi độ cứng, tính chống mài mòn cao như nghiền, trục xay sát ta sử dụng gang xám biến trắng với chiều dày nhất định có độ cứng và tính chống mài mòn cao.

**6.2.2. Gang dẻo** : Gang dẻo là loại gang mà tổ chức graphit có dạng tương đối thu gọn dưới dạng cụm và bông, tính dẻo tương đối cao.

#### 6.2.2.1. Thành phần hóa học

Gang dẻo được chế tạo bằng cách ủ từ gang trắng do vậy thành phần hóa học của nó tương tự như gang trắng đem ủ tuy nhiên lượng cacbon thường dùng từ 2,2 đến 2,8 % C, lượng Si vừa đủ để tạo thành graphit khi ủ và gang hoàn toàn trắng khi đúc.

#### 6.2.2.2. Tổ chức tế vi

Tương tự như gang xám, tùy theo mức độ tạo thành graphit (graphit hóa) được chia làm 3 loại:

- + Gang dẻo ferit
- + Gang dẻo ferit-peclit
- + Gang dẻo peclit

#### 6.2.2.3. Cơ tính

Đặc tính nổi bật của gang dẻo là có độ dẻo cao do lượng cacbon thấp, graphit ít và ở dạng tương đối thu gọn cơ tính của nó là tương quan giữa gang xám và gang cầu

#### 6.2.2.4. Ký hiệu và công dụng

a) *Ký hiệu*: Theo TCVN 1659-75 ký hiệu GZ và 2 nhóm số chỉ giới hạn bền kéo tối thiểu tính theo  $\text{KG/mm}^2$  và độ giãn dài tương đối ( $\delta$ ) tính theo %.

VD: GZ 60-3 giới hạn bền kéo tối thiểu  $60 \text{ KG/mm}^2$   
độ giãn dài tương đối 3%

#### b) *Công dụng*

Gang dẻo thường dùng làm các chi tiết máy đồng thời đòi hỏi ba yêu cầu sau:

- + Hình dáng phức tạp (sử dụng tính đúc cao)
- + Chịu va đập (tính dẻo)
- + Tiết diện mỏng

Thường dùng các chi tiết máy dẹt, máy công nghiệp, bộ phận hãm xe lửa.

**6.2.3. Gang cầu:** Là loại gang có tổ chức graphit thu gọn nhất ở dạng quả cầu, do đó có độ bền cơ nhất trong các loại gang có graphit.

#### 6.2.3.1. Thành phần hóa học

Do được chế tạo từ gang xám nên thành phần hóa học giống gang xám. Lượng C và silic cao từ 5-6% để đảm bảo khả năng graphit hóa.

Không có hay có rất ít các nguyên tố cản trở quá trình cầu hóa như Ti, Al, Sn, Pb, Zn, Pi và đặc biệt là S.

Chứa 1 lượng nhỏ chất biến tính Mg hay C (0,04 ÷ 0,08) %.

Có các nguyên tố nâng cao cơ tính Ni <1%, Mn 2%.

#### 6.2.3.2. Tổ chức tế vi. Có 3 loại gang cầu:

- + Gang cầu pherit: nền kim loại là sắt nguyên chất và graphit cầu.



+ Gang cầu pherit – peclit.

+ Gang cầu peclit.

6.2.3.3. Cơ tính: có cơ tính khá cao giới hạn bền kéo bằng 70÷80% so với thép, độ bền từ 400÷1000Mn/m<sup>2</sup>,  $\delta\%=5-15\%$ ,  $a_k=300-600\text{ KJ/m}^2$ . Độ cứng xấp xỉ 20HB gia công cắt gọt tốt.

6.2.3.4 Ký hiệu và công dụng

a) *Ký hiệu*: theo TCVN 1659-75 ký hiệu GCxx- xx và các nhóm số chỉ giới hạn bền kéo tối thiểu theo KG/mm<sup>2</sup> và độ giãn dài tương đối %.

b) *Công dụng*: dùng thay thế để chế tạo các chi tiết hình dáng phức tạp như trục khuỷu xe ô tô.

**6.2.4. Gang hợp kim**: Là loại gang mà ngoài sắt và cacbon còn có thêm các nguyên tố Ni, Cu, Cr...

### 6.3. Các loại thép và công dụng

#### 6.3.1. Thép C- dạng thường thông dụng

a) *Ký hiệu*: Theo TCVN 1765-75: Ký hiệu thép C thông dụng là CT.

**\*Phân nhóm A**: Quy định về cơ tính không quy định về thành phần hóa học.

Giới hạn bền kéo tối thiểu tính theo đơn vị KG/mm<sup>2</sup> với (Mpa phải nhân thêm 10) có thể tra bảng để tìm các chỉ tiêu  $\delta_{0,2}$ ,  $\delta_{\Psi}$  và  $a_k$ .

VD: Gồm các mác thép CT31, 33, 34, 38, 42, 51, 61

**\*Phân nhóm B**: là loại thép chỉ được quy định về thành phần hóa học mà không quy định về cơ tính.

VD: Gồm các mác thép BCT31, BCT33, BCT61

**\*Phân nhóm C**: là các loại thép được quy định về thành phần hóa học và cả cơ tính. Thường dùng các mac thép CCT31, CCT61...

VD CCT61 cơ tính: CT61

% hóa học: BCT61

b) *Công dụng*: nhóm thép này chủ yếu dùng trong xây dựng được chế tạo dưới dạng bán thành phẩm qua cán nóng: ống thanh, dây thép, hình sợi, băng.

#### 6.3.2. Thép kết cấu

a) *Thành phần hóa học*:

+ Hàm lượng C: trong thép kết cấu nằm trong 0,1-0,65%. Tùy từng trường hợp cụ thể lại chia làm 3 nhóm.

+ Thành phần hợp kim: các nguyên tố hợp kim có trong thép kết cấu với mục đích nâng cao độ bền làm cho hạt nhỏ.

+ Nhóm các nguyên tố hợp kim chính là các nguyên tố chiếm tỷ lệ chủ yếu trong các nguyên tố đưa vào có tác dụng nâng cao độ bền nhờ đó nâng cao độ thấm tôi. Gồm có các nguyên tố sau: G, Mn, Si, Ni (đôi khi cả B) với tổng lượng đưa vào 1÷3% cao nhất 5÷6%.

Chúng có đặc điểm là:

- Rẻ, dễ kiếm
- Nâng cao độ thấm tôi. Để đạt được mục đích này ta thường dùng hợp kim hóa phức tạp.

+ Nhóm nguyên tố hợp kim phụ: được đưa vào thép với số lượng nhỏ hơn 0,1%. Mục đích của nó là cải thiện nhược điểm nào đó của nguyên tố hợp kim chính.

*b) Ký hiệu:* theo TCVN 1766-75 được ký hiệu bằng chữ C sau đó là các số chỉ lượng C trung bình có trong thép tính theo phần vạn.

VD: C05, C10, C65, mác thép C10 ( $\%C = 10/10000 = 0,1\%$ )

Nếu cuối mác thép có chữ A là chủng loại chất lượng cao hơn ( $P, S \leq 0,03\%$ ).

*c) Công dụng:* được sử dụng để chế tạo chi tiết máy và kết cấu chịu tải.

*d) Yêu cầu của thép kết cấu:*

+ **Cơ tính tổng hợp cao:** đây là yêu cầu cơ bản nhất vì nó quy định khả năng chịu tải và thời gian làm việc của chi tiết máy trong điều kiện tải trọng quy định

+ **Độ bền cao:** sẽ giúp cho máy móc có công suất lớn hơn kích thước nhỏ gọn hơn & tuổi thọ cao hơn. Trong chi tiết máy ứng suất không được vượt quá giới hạn chảy vì vậy yêu cầu giới hạn chảy cao là chỉ tiêu quan trọng của cơ tính.

+ **Độ dai va đập:** đây là chỉ tiêu rất quan trọng vì chi tiết máy thường làm việc trong điều kiện tải trọng động. Chỉ tiêu này làm tăng độ tin cậy khi làm việc và đảm bảo chi tiết máy.

+ **Giới hạn mỏi:** khá nhiều chi tiết làm việc trong điều kiện tải trọng thay đổi có chu kỳ. Vì vậy cần giới hạn mỏi cao để tránh phá hủy mỏi.

+ **Tính chống mài mòn cao:** chi tiết máy làm việc trong điều kiện ma sát mài mòn rất mạnh vì vậy bề mặt có độ cứng cao để khả năng chống mài mòn lớn.

+ **Tính công nghệ tốt:** do phải sản xuất với số lượng lớn và phải qua các dạng gia công như biến dạng nóng, cắt gọt...nên thép phải có tính công nghệ tốt để hạ giá thành,

+ **Tính kinh tế:** do số lượng lớn chủng loại nhiều yêu cầu thép phải có giá thành thấp. Tuy nhiên yêu cầu này phải đặt sau độ bền.

### 6.3.3. Thép dụng cụ

a) *Khái niệm:* là thép dùng cắt gọt biến dạng kim loại. Chúng có ý nghĩa quyết định đến năng suất chất lượng kim loại.

b) *Ký hiệu:* Theo TCVN 1822-75 quy định CD (C: cacbon D: dụng cụ) và các số chỉ lượng C trung bình trong thép theo phần vạn .

VD: CD70, CD80, CD130

Nếu cuối mác thép có thêm chữ A có nghĩa là hàm lượng C cao hơn.

c) *Phân loại:* Theo bản chất của quá trình gia công ta chia dụng cụ làm 3 nhóm chính

+ Dụng cắt (dao): là dụng cụ tạo hình có sinh phoi, như dao tiện, phay, bào, chuốt...

+ Dụng cụ biến dạng: tạo hình bằng biến dạng dẻo không sinh phoi: trục cán, khuôn dập, khuôn ép chảy... ở cả trạng thái nguội lẫn trạng thái nóng.

+ Dụng cụ đo: như palme, thước cặp.

d) *Cơ tính và chịu nhiệt:* cứng để ít bị mòn, dai va đập lớn để không gãy vỡ, chịu nhiệt tốt để không giảm tính chất ở trạng thái nóng.

e) *Tính công nghệ và tính kinh tế:* có thể rèn, cắt gọt được, đắt hơn phải tốt hơn.

f) *Thành phần hóa học:*

+ Cacbon:  $C = 0,7 \div 2,00\%$ , song nói chung là  $\geq 1,00\%$ , cá biệt lên tới 2%. Còn đối với các dụng cụ gia công phôi mềm hay ở trạng thái nóng có thể thấp hơn khoảng  $0,30 \div 0,50\%$ .

+ Hợp kim: tăng tính thấm tôi (Cr) do vậy làm được các dụng cụ nhỏ với hình dạng tương đối phức tạp, cần tính cứng nóng cao: W, Mo.

### 6.3.4. Khái niệm về thép hợp kim

a) *Khái niệm:* Thép hợp kim là loại thép ngoài sắt và cacbon người ta cố ý đưa thêm các nguyên tố có lợi với số lượng nhất định và đủ lớn để làm thay đổi tổ chức và cải thiện tính chất của chúng.

- Các nguyên tố có lợi được người ta cố ý đưa vào thép gọi là nguyên tố hợp kim. Các nguyên tố hợp kim thường gặp Cr, Ni, Mn, Si, W, V, Mo, Ti....

*b) Ký hiệu:* TCVN 1759-75 quy định ký hiệu thép hợp kim xx(NTHK)%

- Số đầu tiên của thép chỉ lượng C trung bình có trong thép theo phần vạn nếu bằng 1% thì không ghi
- Các chữ là ký hiệu hóa học của nguyên tố hợp kim, số đứng sau chỉ lượng chứa của nó theo %, nếu xấp xỉ 1% thì không ghi.
- Cuối mác thép có chữ A là thép có chất lượng tốt hơn.

VD: 12Cr Ni3, 35CrAl

### 6.3.5. Thép thấm cacbon

*a) Thành phần hóa học:* Là loại thép có thành phần cacbon thấp từ 0,1 ÷ 0,25% để chế tạo các chi tiết chịu tải trọng tĩnh và tải trọng va đập cao và bề mặt mài mòn mạnh như: bánh răng, cam, chốt.

Đặc điểm nhiệt luyện của chúng là thấm cacbon tôi và ram thấp.

- + Cacbon: lượng cacbon trong thép trong khoảng 0,10 ÷ 0,25% để đảm bảo lõi có độ dẻo dai cao, sau nhiệt luyện đạt được độ bền cao nhất.
- + Hợp kim: tác dụng nâng cao độ thấm tôi và thúc đẩy quá trình thấm (hoặc không cản trở quá trình thấm). Nguyên tố được dùng chủ yếu là crôm.

*b) Thép C :* Thường dùng các thép sau: C10, C15, C25 và C30.

Công dụng làm các chi tiết nhỏ ( $d < 20$  mm) không quan trọng hình dáng đơn giản yêu cầu chống mài mòn không cao lắm, như phụ tùng xe đạp, xe kéo...

*c) Thép crôm:* Thường dùng các mác thép sau: 15Cr, 20Cr, 15CrV.

Công dụng dùng làm các chi tiết tương đối phức tạp nhỏ như bánh răng, trụ bậc chốt, trục giữa xe đạp...

*d) Thép crôm-niken:* Thường dùng các mác sau: 12CrNi3A, 20CrNi4A, 18CrNi4WA.

Chúng chia làm 2 loại, loại hợp kim thấp chứa 0,5-1,00% Cr, Ni > 1%.

Mác thép điển hình 20CrNi dùng làm chi tiết hình dáng phức tạp kích thước trung bình.

Loại có Cr-Ni cao: lượng Ni từ 2-4% và Cr xấp xỉ 1%. Độ thấm tôi có thể đến 100mm.

Nhược điểm: giá thành cao tính gia công cắt gọt kém.

Công dụng: làm các chi tiết thám C quan trọng chịu tải trọng nặng và mài mòn mạnh, yêu cầu có độ tin cậy như các chi tiết trong máy bay, ô tô.

e) *Thép Cr-Ni-Mo*: trên cơ sở sử dụng Cr, Ni cao, thêm vào 0,1-0,4% Mo. Đây là nhóm thép C tốt nhất vì sử dụng cho các chi tiết quan trọng nhất.

### 6.3.6. Thép hóa tốt

Là loại thép có hàm lượng C trung bình 0,3-0,5% dùng để chế tạo các chi tiết máy chịu tải trọng tĩnh và va đập tương đối cao bề mặt bị mài mòn mạnh..

Vd: trục bánh răng, chốt, tay biên...

Chế độ nhiệt luyện của chúng là tôi và ram cao (nhiệt luyện hóa tốt).

#### a) Thành phần hóa học

Cacbon: từ 0,3-0,5% (thông dụng từ 0,35-0,4%) sẽ đảm bảo sự kết hợp tốt nhất giữa các chi tiết.

Hợp kim để đảm cơ tính tổng hợp cao và đồng đều trên tiết diện do đó phải sử dụng với tỷ lệ hợp lý. Nguyên tố hợp kim chính Cr(1-2%), Ni(1-4%). Ngoài ra có thể sử dụng Si(1%).

Ngày nay có xu hướng dùng thêm Bo (0,0005-0,003%). Nguyên tố phụ Mo, W để chống mài mòn cho các chi tiết lớn.

#### b) Các loại thép hóa tốt

##### + Thép cacbon

Thường sử dụng các mac thép sau: C30, C45, C50 nhưng thông dụng nhất là C45.

Công dụng làm các chi tiết máy nhỏ  $d = 20-30$  mm như thanh truyền, chốt phẳng, trục, bánh răng bị động.

##### + Thép Crôm

Hàm lượng 0,5 đến 1% chủ yếu để nâng cao độ thám tôi khi tôi trong dầu. Gồm các mac thép 35Cr, 50Cr. Nhưng thông dụng là 40Cr và 40CrVA. So với thép cacbon chúng có đặc điểm công dụng như thép trên nhưng có kích thước lớn hơn như trục bánh răng, hộp số của một số máy cắt gọt.

##### +Thép Crôm molipden

Trên cơ sở trên cho thêm 0,25% molipden sẽ nâng cao độ cứng tôi và chống giòn ram loại 2. Thông dụng là mac thép 38CrMA làm các chi tiết trung bình...hình dáng tương đối phức tạp như bánh răng.

+ *Thép Crôm Niken*

Có độ thấm tương đối cao nhưng độ dẻo và độ dai tương đối tốt. Thép Crôm niken thường hàm lượng Crômniken 1%. Độ cứng tôi chưa cao lắm làm cho các chi tiết có đường kính (50 -60mm) gồm các mác thép 40Cr Ni, 50Cr Ni, thông dụng nhất là 40Cr Ni.

Công dụng: làm các chi tiết chịu tải trọng cao, độ tin cậy cao như hệ thống lái ô tô, chi tiết truyền lực trong máy bay.

Thép Crôm Niken cao hàm lượng Cr (1-2%) Ni(3-4%) (tỉ lệ Ni/Cr từ 3-4%). Điển hình: 30CrNi3A. Công dụng: như chi tiết trên những hình dáng phức tạp và kích thước lớn.

**6.3.7. Thép đàn hồi**

Thép đàn hồi là loại thép có hàm lượng cacbon tương đối cao từ 0,55-0,65% có tính đàn hồi cao để làm các loại lò xo nhíp và các chi tiết đàn hồi khác.

Đặc điểm nhiệt luyện: là tôi và ram trung bình (được tổ chức là trostit ram).

a) *Điều kiện làm việc và yêu cầu:* Các chi tiết đàn hồi chịu tải trọng tĩnh và va đập cao nhưng không được phép biến dạng dẻo.

**Các yêu cầu của thép đàn hồi:**

+ Giới hạn đàn hồi cao, khả năng chống biến dạng dẻo lớn. Tỷ lệ  $\delta_{dh}/\delta_b$  gần 1 là tốt nhất, thông thường từ 0,85-0,95.

+ Độ cứng khá cao, độ dẻo và độ dai thấp để tránh bị biến dạng dẻo.

+ Giới hạn mỏi cao để phù hợp điều kiện tải trọng thay đổi có chu kỳ.

b) *Đặc điểm thành phần hóa học và độ tôi luyện:*

- Thành phần hóa học: C = 0,55 ÷ 0,70% nhưng thường dùng 0,55 ÷ 0,60%.
- Nguyên tố hợp kim: nhằm 2 mục đích nâng cao giới hạn đàn hồi và độ cứng dùng Mn và Si.
- Nâng cao độ thấp tôi để đảm bảo giới hạn đàn hồi và đồng nhất trên tiết diện.
- Chế độ nhiệt luyện tôi và ram trung bình. Tổ chức nhận được xoocbit ram. (trostit ram)

c) *Các loại thép đàn hồi:*

- Thép C: C65, C70, C80, C88; Thép Mn: 60Mn, 70Mn. Dùng làm lò xo tròn chất lượng thường.

- Thép Si và thép hợp kim khác. Đây là những thép có đàn hồi cao dùng vào các mục đích quan trọng như: lò xo, xe lửa, nhíp xe hơi. Các trục mềm dùng các loại 55Si2, 60Si2, 60SiMn. Nếu hợp kim hòa thêm Crôm, Mn, Ni, để tạo ra các 50CrMnV, 50CrVA, 60Si12VA, 60Si12Ni2A có công dụng làm các lò xo cao cấp, dây cốt đồng hồ, các trục mềm, lò xo xe lửa.

### 6.3.8. Thép có công dụng riêng

Nhóm thép này làm các chi tiết máy.

#### a) Thép là dập nguội (dập sâu)

- Dùng chế tạo chi tiết bằng dập nguội với độ biến dạng chi tiết lớn cần độ dẻo cao.
- Hàm lượng C thấp < 0,2% thông dụng là 0,1%.
- Hàm lượng Si thấp < 0,05 ÷ 0,17% và là thép sôi.
- Hạt nhỏ và đều cấp hạt 6 ÷ 8. Các mác thông dụng: C10s, C18s, C5s... làm chấn bèn xe hơi, ca bin xe.

#### b) Thép dễ cắt (tự động)

- Dùng làm các chi tiết phải qua gia công, cắt gọt số lượng nhiều không chịu trọng tải lớn. Yêu cầu độ bóng cao, năng suất cao.
- Thành phần hóa học: C(0,1 ÷ 0,4), P, S tương đối cao, Mn(0,8 ÷ 1%) để tạo ra MnS làm phoi dễ gãy vụn. Ngoài ra thêm chì (0,15 ÷ 0,3%). Các mác thép dễ cắt: 12S, 20S, 11SPb, 40MnS, 40SPb.
- Công dụng làm bulong, đai ốc, vít, bạc, một số bánh răng.

c) *Thép ổ lăn*: Là loại thép có chất lượng rất cao dùng để chế tạo ổ lăn như ổ bi, ổ đỡ.

#### Điều kiện làm việc yêu cầu:

- + Độ cứng, chống mài mòn cao ( $\geq 64\text{HRC}$ )
- + Các bề mặt ổ lăn chịu ...cao với số lượng rất lớn và bị mài mòn điếm. Yêu cầu: độ cứng, chống mòn cao ( $64\text{HRC}$ )
- + Cơ tính phải đồng nhất tuyệt đối không có điếm mềm.
- + Độ bền môi tiếp xúc cao để đảm bảo độ cứng cao tính chống mài mòn tốt.

#### Thành phần hóa học:

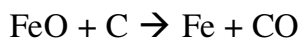
- + C (1%), Cr (0,5 ÷ 1%), Mn, Si (1%), S, P < 0,02%, không được chứa khí.
- + Nhiệt luyện: tôi, gia công lạnh và ram thấp được tổ chức maxtensit ram.

**Các mác thép thường dùng:** OL100Cr0,9; OL100Cr1,5; OL100Cr1,55Mn.

**Công dụng:** dùng làm các ổ lăn ngoài và dùng làm bàn ren, taro, dụng cụ đo, pitông bơm cao áp.

d) *Thép đường ray:* là loại thép chất lượng cao, hàm lượng C 0,5 ÷ 4,8%, Mn 0,6 ÷ 1%, P 0,05%, S 0,04% được chế tạo từ máy luyện kim.

e) *Thép sôi:* là loại thép không được khử oxy triệt để, tức chỉ bằng chất khử không mạnh là fero mangan, nên trong thép lỏng vẫn còn FeO và do đó có phản ứng:



Khí CO bay lên làm mặt thép lỏng chuyển động như thể bị “sôi” vậy (nên có tên là thép sôi) và tạo ra bọt (rỗ) khí trong thỏi đúc. Khi cán nóng tiếp theo phần lớn bọt khí được hàn kín lại (chú ý là vỏ bọc khí nằm trong thỏi đúc, không tiếp xúc với không khí nếu không lưu thông kho quá lâu sẽ chưa bị oxy hóa nên các nguyên tử sắt dễ khuếch tán, hàn kín lại khi cán nóng) nên nói chung không ảnh hưởng xấu đến cơ tính của thép đã qua biến dạng nóng. Các đặc điểm của thép sôi là:

- Do không được khử bằng fero silic nên chứa rất ít silic, thường  $\leq 0,05 \div 0,07\%$ , nên ferit của thép rất mềm và dẻo, rất dễ dập nguội.

- Không cho thép dùng thép sôi để chế tạo các vật đúc định hình vì các rỗ khí làm giảm mật độ, tập trung ứng suất gây ảnh hưởng rất xấu đến cơ tính.

- Không cho phép dùng thép sôi để làm chi tiết thấm cacbon do không được khử oxy triệt để nên thuộc loại thép hạt bản chất lớn.

*f) Thép lặng và thép nửa lặng*

Thép lặng là loại thép được khử oxy triệt để bằng cả fero mangan lẫn fero silic là chất khử mạnh và nhôm, nên trong thép lỏng không xảy ra phản ứng trên, mặt thép lỏng luôn “phẳng lặng” nên có tên là thép lặng. Các đặc điểm của thép lặng là:

- Do được khử bằng fero silic nên chứa một lượng nhất định silic, thường trong khoảng 0,15 ÷ 0,35%, vì thế ferit của thép cứng và bền hơn, khó dập nguội hơn.

- Trong tổ chức không có rỗ khí nên có cấu trúc xít chặt hơn, có cơ tính cao hơn thép sôi, các vật đúc bằng thép phải được chế tạo bằng thép lặng, tuy nhiên lỗm co trong thép lặng khá lớn.

- Trong các kết cấu hàn chỉ được phép dùng thép lặng.

- Các chi tiết thấm cacbon chỉ được làm bằng thép lặng.



### 6.3.9. Thép có công dụng đặc biệt

a) *Thép không rỉ*: Nó bao gồm một họ hợp kim trên cơ sở sắt chống ăn mòn trong các môi trường khác nhau.

#### **Căn cứ tính chống ăn mòn chia làm 3 cấp:**

Cấp 1: Tính chống ăn mòn cao: khi chiều sâu khối lượng bị xâm thực < 0,125mm/năm.

Cấp 2: Tính chống ăn mòn đạt yêu cầu: khi chiều sâu khối lượng bị xâm thực 0,125mm – 1,25mm/năm.

Cấp 3: Tính chống ăn mòn yếu: khi chiều sâu khối lượng bị xâm thực >1,25mm/năm

**Thành phần hóa học:** Hàm lượng C từ 0,1-0,4%, Cr 13% hai phần cơ bản là ferit và cacbon crôm. Gồm các mác 12Cr13, 20Cr13, 30Cr13, 40Cr13. Làm việc ổn định trong không khí, nước sông, nước máy.

**Công dụng:** dùng làm đồ trang sức, ốc vít không rỉ chi tiết chịu nhiệt, dụng cụ mỏ

b) *Thép không rỉ ferit*: Hàm lượng C (0,08 ÷ 0,20%), lượng Cr (0,17 ÷ 0,25%), chỉ có 1 pha là ferit. Các mác C8Cr13, 12 Cr17, 15Cr25Ti.

Công dụng: thép dùng trong môi trường nước biển, môi trường axit, công nghiệp hóa dầu.

## Chương 7. KIM LOẠI VÀ HỢP KIM MÀU

Chương này sẽ khảo sát các hợp kim không phải trên cơ sở sắt hay theo cách gọi thông dụng ở nước ta cũng như một số nước là hợp kim màu. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Tính chất và cơ tính của một số loại hợp kim màu.
- + Các loại hợp kim màu thông dụng và công dụng của chúng.

### 7.1. Nhôm và hợp kim nhôm

#### 7.1.1. Nhôm nguyên chất và phân loại hợp kim nhôm

##### a) Các đặc tính của Al nguyên chất

**Ưu điểm:** khối lượng riêng nhỏ ( $2,7\text{g/cm}^3$ ) = 1/3 so với thép, sử dụng cho ngành vận tải do tiết kiệm năng lượng. Tính bền mòn khí quyển: xây dựng, trang trí nội thất, dẫn điện tốt, tuy bằng 62% của Cu nhưng nhẹ bằng 1/3 của thép, tính dẻo rất cao, mạng tinh thể  $A_1$ , dễ kéo sợi, dây và cán mỏng thành tấm, lá băng, màng (foil), ép chảy thành các thanh dài với các biên dạng (profile) phức tạp khác nhau.

**Nhược điểm:** chịu nhiệt kém: chảy ( $660^\circ\text{C}$ ), không sử dụng ở trên  $300\div 400^\circ\text{C}$ , độ bền độ cứng thấp, ở trạng thái ủ  $\sigma_u = 60\text{MPa}$ ,  $0,2 = 20\text{MPa}$ , HB 25.

Để ký hiệu mức độ biến dạng đơn thuần (tăng bền nhờ biến dạng nguội) ở Hoa kỳ, Nhật, các nước Tây Âu thường dùng các ký hiệu H1x, trong đó x là số chỉ mức tăng thêm độ bền nhờ biến dạng dẻo (x/8):

8- mức tăng toàn phần (8/8 hay 100%), ứng với mức độ biến dạng rất lớn ( $\varepsilon = 75\%$ ).

1- mức tăng ít nhất (1/8 hay 100%), ứng với mức độ biến dạng nhỏ.

2,4,6- mức tăng trung gian (2/8, 4/8 hay 6/8 hay 25%, 50%, 75% so với mức toàn phần), ứng với mức độ biến dạng tương đối nhỏ, trung bình, lớn

9- mức tăng tối đa (bền, cứng nhất) ứng với mức độ biến dạng  $\varepsilon < 75\%$ .

##### b) Hợp kim nhôm và phân loại

FC là đường giới hạn hòa tan của ntk trong  $\alpha$ .

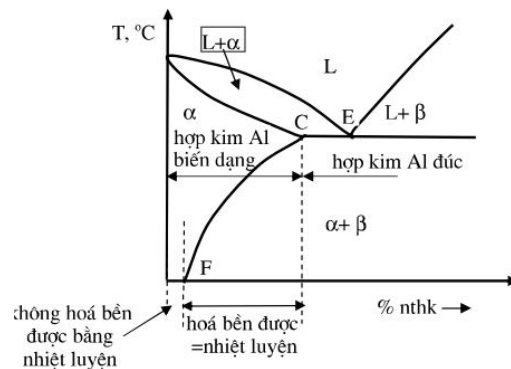
Hợp kim Al biến dạng-trái điểm C.

Hợp kim nhôm đúc- bên phải điểm C.

Hợp kim Al biến dạng hóa bền được bằng nhiệt luyện nằm trong khoảng CF.

Hợp kim Al biến dạng không hóa bền được bằng nhiệt luyện-trái điểm F.

Si, Mn, Ti, Zn, Fe ít hòa tan Zn, Mg, Cu hòa tan nhiều



Hình 7.1. Góc giản đồ pha Al-nguyên tố hợp kim

c) Hệ thống ký hiệu cho hợp kim Al

Hoa Kỳ ký hiệu các hợp kim nhôm: theo AA (Aluminum Association) bằng xxxx cho hợp kim Al biến dạng và xxxx cho loại hợp kim Al đúc:

- Số đầu tiên có các ý nghĩa sau.

Loại biến dạng	Loại đúc
1xxxx- nhôm sạch ( $\geq 99,0\%$ )	1xx.x-Al nhôm thỏi sạch thương phẩm,
2xxxx- Al-Cu, Al-Cu-Mg	2xx.x-Al-Cu
3xxxx-Al-Mn,	3xx.x-Al-Si-Mg, Al-Si-Cu
4xxxx-Al-Si, 5xxxx-Al-Mg	4xx.x-Al-Si, 5xx.x-Al-Mg
6xxxx-Al-Mg-Si,	6xx.c- không có
7xxx-Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	7xx.x-Al-Zn
8xxx-Al-các nguyên tố khác	8xx.x-Al-Sn

3 số tiếp theo được tra theo bảng để có các số liệu cụ thể.

Trạng thái gia công và hóa bền, các nước phương Tây thường dùng các ký hiệu sau:

F: trạng thái phiêu thoi, O: ủ và kết tinh lại, H: hóa bền bằng biến dạng nguội, trong đó:

H1x (x từ 1 đến 9): biến dạng nguội rồi ủ hồi phục,

H2x (x từ 2 đến 9): biến dạng nguội rồi ổn định hóa,

T: hóa bền bằng tôi + hóa già, trong đó:

T1: biến dạng nóng, tôi, hóa già tự nhiên

T3: tôi, biến dạng nguội, hóa già tự nhiên

T4: tôi, hóa già tự nhiên

T5: biến dạng nóng, tôi, hóa già nhân tạo

T6: tôi, hóa già nhân tạo

T7: tôi, quá hóa già

T8: tôi, biến dạng nguội, hóa già nhân tạo

T9: tôi, hóa già nhân tạo, biến dạng nguội

TCVN 1659-75 hợp kim nhôm: AlCu4Mg là hợp kim Al chứa gần 4%Cu, gần 1%Mg. Với Al sạch bằng Al và số chỉ phần trăm của nó, ví dụ Al99, Al99,5.

### 7.1.2. Các loại hợp kim nhôm

#### 7.1.2.1. Al sạch

Bảng 7.1. Độ sạch của Al

Việt Nam	A0	A5	A6	A7	A8,	A9	A95	A97	A995	A999
%Al	99	99,5	99,6	99,7	99,8	99,85	99,9	99,95	99,995	99,999

#### 7.1.2.2. Hợp kim nhôm biến dạng không hóa bền được bằng nhiệt luyện

Hợp kim Al-Mn: 3xx dễ biến dạng dẻo, hóa bền biến dạng cao, cung cấp dưới dạng: lá mỏng, thanh, dây, hình ống .. chống ăn mòn tốt trong khí quyển và dễ hàn.

Hợp kim Al-Mg: điển hình AA 5050, AA 5052, AA 5454: nhẹ nhất, độ bền khá, hóa bền biến dạng tốt, biến dạng nóng, nguội và hàn đều tốt, bền ăn mòn tốt nhất là sau anod hóa.

#### 7.1.2.3. Hợp kim nhôm biến dạng hóa bền được bằng nhiệt luyện

**Họ AA 2xxx (dura):** hợp kim Al-Cu-Mg: gần 4% Cu (2,6-6,3%), 0,5-1,5%Mg tên là dura. Pha hóa bền, ngoài  $CuAl_2$  còn có  $CuMg_5Al_5$ ,  $CuMgAl_2$  có tác dụng mạnh hơn. Tạp chất: Fe, Si, và Mn: Fe và Si là hai tạp chất thường có, Mn được đưa vào với lượng nhỏ để làm tăng tính chống ăn mòn.

**AA 2014 AA 2024:** kết cấu máy bay, đảm chịu lực xe tải, sườn tàu biển, thể thao...

Đặc điểm nổi bật của dura là: Độ bền cao ( $\sigma_b = 450 \div 480Mpa$ ), nhẹ  $\rho = 2,7g/cm^3$

Họ Al-Mg-Si: Họ AA6xxx: điển hình là AA6061 và AA 6070 : độ bền kém dura ( $\sigma_b = 400Mpa$ ), nhưng tính dẻo hơn, tính hàn tốt.

**Họ Al-Zn-Mg:** Họ AA7xxx: có độ bền cao nhất ( $\sigma_b > 550Mpa$ ).

Tôi 350<sup>0</sup>C -500<sup>0</sup>C trong không khí hoặc nước nóng, ứng dụng: máy bay, vũ khí, dụng cụ thể thao...

#### 7.1.2.4. Hợp kim nhôm đúc

Các đặc điểm: dễ chảy, dễ đúc, có thể biến tính, nguội nhanh để tăng cơ tính.

**Silumin đơn giản:** Al-(10÷ 13%)Si họ AA423.0.

Biến tính: bằng hỗn hợp muối (2/3 NaF +1/3NaCl) với lượng 0,05-0,08% tăng cơ tính từ ( $\sigma_b = 130Mpa, \delta = 3\%$ ) lên ( $\sigma_b = 180Mpa, \delta = 8\%$ ) nhưng vẫn còn thấp so với yêu cầu sử dụng.

**Silumin phức tạp:** Ngoài Al, Si còn có < 1%Mg, 3-5% Cu phải qua nhiệt luyện hóa bền, cơ tính và có tính đúc tốt: đúc piston, nắp máy của động cơ piston (AA 390,0).

## 7.2. Đồng và hợp kim đồng

### 7.2.1. Đồng nguyên chất và phân loại hợp kim đồng

a) *Các đặc tính của đồng đỏ:* Cu nguyên chất có màu đỏ nên được gọi là đồng đỏ với các đặc tính như sau:

- Dẫn nhiệt, dẫn điện cao, dùng làm dây dẫn.
- Chống ăn mòn khá tốt.
- Dẻo dễ cán mỏng, kéo sợi tiện lợi cho sử dụng ,
- Tính hàn tốt.
- Nhược điểm: nặng ( $\rho = 8,94g/cm^3$ ), tính gia công cắt gọt kém do phoi quá dẻo, tính đúc kém, chảy ở  $1083^0$ , độ chảy loãng thấp (P khi đúc tượng).

#### b) *Các loại đồng nguyên chất*

Đồng điện phân ETP ( Electrolytic Tough Pitch ) có 0,04 % O<sub>2</sub>. Do có O<sub>2</sub> nên chỉ gia công chế biến ở thấp hơn 400<sup>0</sup>C để tránh bệnh hydro.

Đồng sạch oxy OFHC ( Oxygen Free High Conductivity) là loại được nấu chảy trong chân không hoặc môi trường bảo vệ, O<sub>2</sub> < 0,003% nên không nhạy cảm với hydro.

Đồng khử được oxy là loại được khử oxy triệt để khi nấu bằng Cu-P, dẫn điện =85% của OFHC, do sạch oxy nên có thể biến dạng nóng .

#### c) *Các loại hợp kim đồng:* latong = Cu-Zn, brong = Cu-Sn từ lâu đời.

#### d) *Hệ thống ký hiệu cho hợp kim đồng*

Hoa kỳ: CDA (Copper Development Association): CDAxxx, số đầu tiên:

1xx- Đồng đỏ và các hợp kim Cu-Be,

2xx- Latong đơn giản

4xx- latong phức tạp

5xx- brong thiếc

6xx- Brong Al

7xx-Brong Al

8xx và 9xx- hợp kim đồng

### 7.2.2. Latong

Latong là hợp kim của đồng mà nguyên tố hợp kim chính là kẽm, ngoài ra có thể gọi là đồng thau (trong thực tế có nhiều tên gọi khác nữa). Các từ nước ngoài tương ứng là Pháplaiton, Anh-brass.

**Latong đơn giản:** được dùng nhiều hơn cả, phổ biến < 45% Zn nên tổ chức  $\alpha$  hoặc  $\alpha + \beta$ .

Điều rất đặc biệt: khi tăng % Zn độ bền và độ dẻo tăng lên, độ dẻo max ứng với 30% Zn. Ngoài ra khi pha thêm Zn, màu đỏ của đồng nhạt dần chuyển thành màu vàng.

**Latong một pha ( $\alpha$ ), < 35% Zn,** dẻo cao làm các chi tiết máy qua dập.

**Latong (~20%Zn) LcuZn20, CDA240) :** màu như Au, dùng làm đồ trang sức, giả vàng.

**Latong (~30%Zn) LcuZn30, CDA269):** dẻo và độ bền cao làm vỏ đạn.

**Latong hai pha ( $\alpha + \beta$ ):** với gần 40% Zn (LcuZn40, CDA 280).

**Latong phức tạp:** ngoài Cu, Zn còn có Pb để đúc, cắt gọt, Sn chống ăn mòn, Ni tăng bền.

LcuZn40Pb, CDA370, dễ cắt, LcuZn29SN, đồng thau Hải quân.

### 7.2.3. Brong

Brong là hợp kim của đồng với các nguyên tố khác không phải là thiếc như Sn, Al, Be... và được gọi là brong thiếc, brong Al, brong beli,...(riêng Cu-Ni không gọi là brong mà là cuni).

**Brong thiếc:** (hợp kim Cu-Sn) là hợp kim cổ xưa nhất thời kỳ đồ đồng – Bronze age.

Brong thiếc biến dạng: <8 %Sn (có thể tới 10%) có cơ tính cao và chống ăn mòn trong nước biển tốt hơn latong. Để cải thiện tính gia công cắt thường có thêm Pb (CDA 521, CDA5220 hay có thêm Zn để vừa thay cho Sn rẻ hơn vừa có tác dụng hóa bền khi dùng 4% cho mỗi nguyên tố (4%Sn-4%Zn-4%Pb) với mác CDA.

**Brong thiếc đúc:** là loại chứa nhiều hơn 10%Sn hay với tổng lượng các nguyên tố đưa vào cao hơn 12% như loại 5%Sn -5%Zn-5%Pb với các mác CDA85%, hay 10%Sn-2%Zn với mác CDA905. Brong thiếc chứa Zn, Pb được dùng để đúc các tác phẩm nghệ thuật: tượng đài, chuông, phù điêu, họa tiết trang trí.

**Brong Al:** Brong Al một pha (với 5 ÷ 9 % Al) được sử dụng khá rộng rãi để chế tạo bộ ngưng hơi, hệ thống trao đổi nhiệt, lò xo tải dòng, chi tiết bơm, đồ dùng cho lính thủy.

**Brong hai pha (>9,4%Al)** với sự xuất hiện của pha  $\beta$  ( $\text{Cu}_3\text{Al}$ , pha điện tử mạng  $A_2$ ) chỉ ổn định ở trên  $565^\circ\text{C}$  và chịu biến dạng tốt. Ở  $565^\circ\text{C}$  và chịu biến dạng tốt. ở  $565^\circ\text{C}$  có chuyển biến cùng tích  $\beta \rightarrow [\alpha + \gamma_2]$ . Nếu làm nguội nhanh  $\beta \rightarrow \beta'$  (mạng sáu phương) cũng có tên là mactenxit, không cứng, khi ram ở  $500^\circ\text{C}$   $\gamma_2$  tiết ra ở dạng nhỏ mịn, làm tăng mạnh độ bền lại rất ít gây ra giòn nên các brong Al chứa 10 ÷ 13%Al được tôi ram cao và có cơ tính cao.

Các brong Al đúc có lượng Al>9% nên cũng có thể có thành phần như loại biến dạng như CDA 952 (giống CDA614).

**Brong berili:** Hợp kim Cu với 2%Be (CDA172, ) sau khi tôi  $750 \div 790^\circ\text{C}$  trong nước, hóa già ở  $320 \div 350^\circ\text{C}$  có tính đàn hồi rất cao, không phát ra tia lửa điện khi va đập nên được làm các chi tiết đàn hồi trong mỏ và thiết bị điện.

#### 7.2.4. Hợp kim Cu-Ni và Cu-Zn-Ni

Cu và Ni hòa tan vô hạn, kiểu mạng  $A_1$ . Ni hòa tan vào Cu làm tăng mạnh độ bền, độ cứng, tính chống ăn mòn trong nước biển. Hợp kim Cu-Ni với 10-30% Ni (ví dụ CDA 715 có 30% Ni) được dùng làm bộ ngưng tụ của tàu biển, ống dẫn nước biển, trong công nghiệp hóa học.

Hợp kim Cu với 17% -27% Zn và 8%-18% Ni được dùng làm dây biển trở, với tổ chức là dung dịch rắn nên có điện trở suất rất cao và có màu bạc như Niken.

### 7.3. Hợp kim làm ổ trượt

Mặc dù ngày nay ổ lăn (bi và đũa) được sử dụng rất phổ biến, các ổ trượt vẫn có vị trí trong máy móc vì có các ưu điểm sau đây: dễ chế tạo, dễ thay thế, bôi trơn dễ và trong nhiều trường hợp không thể thay thế được như trục khuỷa, tốc độ cao không gây ồn.

#### 7.3.1. Yêu cầu đối với hợp kim làm ổ trượt

- Ma sát nhỏ với bề mặt trục thép: hệ số ma sát nhỏ và diện tích tiếp xúc nhỏ; pha cứng trên nền mềm, hoặc hạt mềm trên nền cứng để khi làm việc phần mềm bị mòn đi thành các ổ chứa dầu. Tổ chức hạt cứng – nền mềm có khả năng cho độ ma sát bé hơn loại nền cứng – hạt mềm.

- Ít làm mòn ổ trục thép và chịu được áp lực cao: bằng các hợp kim mềm: Sn, Pb, Al, Cu...Để nâng cao khả năng chịu áp lực đúc: đúc tráng hay gắn ép lên máng thép C8s,

- Tính công nghệ đúc: dễ đúc, khả năng dính bám vào máng ép cao...

- Rẻ tiền

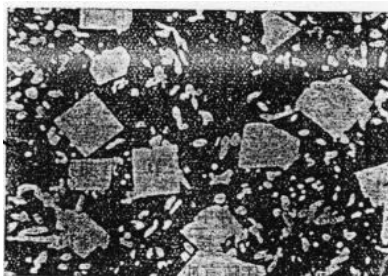
Hợp kim ổ trục ra làm hai nhóm lớn: có nhiệt độ chảy thấp và nhiệt độ chảy cao.

**7.3.2. Hợp kim ổ trượt có nhiệt độ chảy thấp:** là hợp kim các kim loại dễ chảy Sn, Pb,... gọi là babit (babbitt)

a) *Babit thiếc:* (do Babbitt người Anh tìm ra)

Dùng làm các ổ trượt quan trọng với tốc độ lớn và trung bình như trong tuabin, động cơ diesel, 2 mác: 83% Sn-11% Sb -6% Cu, 88% Sn- 8% Sb-3% Cu-1%(Ni+Cd).

Tổ chức nền mềm dung dịch rắn  $\alpha$ - Sn(Sb) (màu xám), hạt cứng: pha  $\beta'$  là SnSb (mảng sáng đa cạnh) (hình 7.2) và hợp kim  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  (hay  $\text{Cu}_6\text{Sn}$ ), tác dụng chính của nó là tránh thiên tích (SnSb do nặng nên có xu hướng chìm xuống dưới, nhờ  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  kết tinh sớm tạo khung ngăn cản). Loại sau với nhiều Sn, ít Sb hơn nên trong tổ chức hầu như không có SnSb, vai trò hạt cứng chỉ do  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  dạng kim dạng sao đảm nhiệm.



Hình 7.2. Tổ chức tế vi của hợp kim babit

b) *Babit chì:* Là hợp kim trên cơ sở với 6-16% Sn, 6-16% Pb và 1% Cu

Tổ chức: nền mềm là cùng tinh (Pb + Sb), hạt cứng: SnSb,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  2 mác (với 6% Sn, 6% Sb) và với (16% Sn, 16% Sb), trong đó B16 có nhiều hạt cứng hơn giòn hơn chỉ dùng trong điều kiện không chịu va đập.

### 7.3.3. Hợp kim nhôm

Hợp kim nhôm là loại đáp ứng khá toàn diện các yêu cầu đối với ổ trượt và hiện được dùng rất rộng rãi nhờ ma sát nhỏ, nhẹ, tính dẫn nhiệt cao, chống ăn mòn cao trong dầu, đặc biệt là cơ tính cao hơn, tuy tính công nghệ hơi kém.

Phổ biến hơn cả là hệ Al-Sn, trong đó lượng Sn có thể biến đổi từ 3 đến 20% (ngoài ra còn Cu, Ni, Si), chúng tạo nên các pha mềm ngay trong hạt dung dịch rắn của Al, nhờ đó làm tăng tính chống ma sát. Với lượng ít Sn (3-10%) như các mác  $\Gamma OCT$  AO 3-1 (3% Sn, 1% Cu)  $\Gamma OCT$  AO 9-2 (9% Sn, 2% Cu), AA 851.0 (6% Sn, 1% Cu) được dùng ở trạng thái đúc làm bạc hay ống lót dày ít nhất 10mm.



## Chương 8. VẬT LIỆU PHI KIM LOẠI

Ngoài vật liệu kim loại được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực cơ khí. Vật liệu phi kim loại cũng được sử dụng rộng rãi trong đời sống hằng ngày cũng như máy móc thiết bị. Với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, các vật liệu phi kim loại ngày càng có tính năng nhẹ, giá thành rẻ mà những vật liệu kia không có được. Do vậy chương này sẽ giới thiệu cấu trúc, thành phần hóa học, cơ tính và công dụng của các loại vật liệu phi kim loại phổ biến hiện nay. Sau khi học xong chương này, sinh viên cần nắm được:

- + Các khái niệm về các vật liệu phi kim loại.
- + Cấu trúc, phân loại và công dụng của từng loại vật liệu trên.

### 8.1. Khái niệm chung

Vật liệu phi kim loại gồm các loại vật liệu sau: vật liệu vô cơ silicat, vật liệu polyme, vật liệu composites, dầu mỡ.

### 8.2. Vật liệu vô cơ silicat

**8.2.1. Khái niệm:** Vật liệu vô cơ là sự kết hợp giữa kim loại Me, Si với á kim B,C,N,O bằng các liên kết ion và cộng hóa trị.

**8.2.2. Phân loại:** nhiều cách phân loại

**Theo đặc điểm kết hợp:** 3 nhóm chính

- Gốm và kim loại chịu lửa
- Thủy tinh và gốm thủy tinh
- Xi măng và bê tông

**Theo cấu trúc:** 2 nhóm

- Đơn pha: thủy tinh  $\text{SiO}_2$ , gốm đơn oxit
- Vật liệu đa pha: hầu hết các vật liệu vô cơ

Pha chính là các pha tinh thể liên kết với nhau bởi pha thủy tinh (vô định hình): gốm và sứ chịu lửa, sứ, gốm, thủy tinh.

Ngoài ra còn có pha khí do công nghệ chế tạo không tránh khỏi cũng có thể do chủ động đưa vào: gốm xốp, thủy tinh xốp, bê tông xốp các pha tinh thể có thể có % khác nhau, chứa nhiều khuyết tật, nhiều vết nứt, chúng quyết định tính chất của ceramic.

### 8.2.3. Các vật liệu vô cơ điển hình

*Gốm và vật liệu chịu lửa*

+ Gốm bằng sản phẩm đất nung: Nhiệt độ nung gạch 900<sup>0</sup>C, sứ 1400, tạo từ các nguyên liệu tự nhiên: Kaolinit,  $Al_2O_3 \cdot 2SO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow$  Vật liệu bột tạo hình nung vật liệu gốm.

*Cấu trúc:* gồm các pha tinh thể liên kết bằng pha vô định hình tỷ lệ vô định hình trong gạch gói 20-40% , trong sứ 50-60%,  $Al_2O_3$  1%.

Bột khí trong gạch ngói 10-50%, trong sứ 5%.

*Phân loại:* Gốm silicat (gốm truyền thống) màu xỉn do chứa oxy sắt, chế tạo từ silicat thiên nhiên: đất sét, cao lanh (gạch ngói, sứ vệ sinh, ấm chén bát đĩa đồ sứ gia đình) sứ cách điện..chế tạo bằng công nghệ gốm thô hoặc công nghệ gốm tinh (hạt nhỏ).

Gốm oxit gồm tạo từ một loại oxit  $Al_2O_3$ .  $TiO_2$ ...) hoặc một oxit phức:  $MgO \cdot Al_2O_3$ ,  $BaO \cdot TiO_2$  (khác gốm silicat tinh khiết cao nên tỷ lệ pha tinh thể cao) chế tạo bằng sản phẩm chất lượng cao, và có tính chất điện từ đặc biệt, chế tạo theo công nghệ gốm tinh.

$Al_2O_3$ : Phế sợi máy dệt, chi tiết máy dệt ( $Al_2O_3$ ), điện tử, y tế, bột mài.

$TiO_2$ : gốm  $TiO_2$  làm tụ điện hằng số điện môi lớn tổn thất điện môi nhỏ, Gốm hệ  $PbO \cdot TiO_2 - PbO \cdot ZrO_2$  có pha thêm  $MgO \cdot NiO \cdot ZnO$  gọi tắt là gốm PTZ cải thiện các tính chất điện môi ngày càng được dùng nhiều trong kỹ thuật điện,  $Fe_2O_3$  + oxit kim loại nhóm  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $WO_3$ ...

### 8.3. Vật liệu polyme

**8.3.1. Khái niệm:** là hợp chất gồm các phân tử hữu cơ được hình thành do sự lặp lại nhiều lần của một hay nhiều nguyên tử hay một nhóm nguyên tử (đơn vị cấu tạo = monome) liên kết với nhau với số lượng khá lớn để tạo nên một loạt tính chất mà những tính chất này thay đổi không đáng kể khi lấy đi hoặc thêm vào một vài đơn vị cấu tạo.

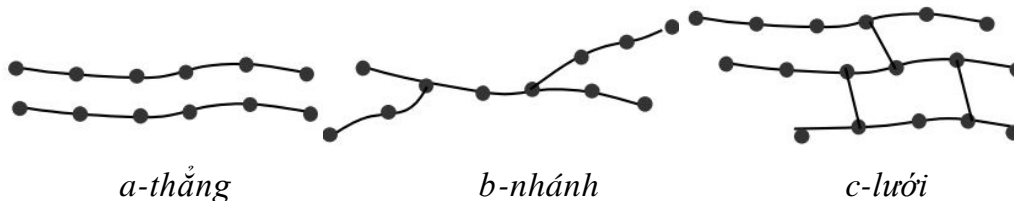
#### 8.3.2. Phân loại

a) *Theo nguồn gốc hình thành:* Polyme thiên nhiên, polyme tổng hợp.

Polyme thiên nhiên: nguồn gốc thực vật, động vật như: xenlulo, cao su, Protein.

Polyme tổng hợp: Phản ứng trùng hợp, trùng ngưng: Polyolefin, Polyamit, nhựa phenol formadehit.

Theo cấu trúc:



Hình 8.1. Các cấu trúc polyme

\* Polyme mạch thẳng: Polyetylen, Polyvinylclorua, Polystyren.

\* Polyme mạch nhánh: các nhánh xem như một phần của phân tử tạo bằng từ các phản ứng phụ trong quá trình tổng hợp polyme có các mạch nhánh sự sắp xếp ít chặt chẽ dẫn đến tỷ trọng của polyme giảm.

\* Polyme mạch lưới: có các mạch cạnh nhau được nối với nhau bằng các liên kết cộng hóa trị các lưới này thường được hình thành nhờ cho thêm vào các nguyên tử, phân tử tạo liên kết đồng hóa trị với mạch chính. Cao su mạng lưới tạo thành do quá trình lưu hóa.

\* Polyme không gian: có các monome có ba nhóm hoạt động tạo nên polyme không gian ba chiều. Thực tế các polyme mạng lưới dày đặc có thể coi là polyme không gian: Nhựa epoxy, nhựa phenolformandehyt.

Chú ý: một polyme không thể thuần nhất một loại cấu trúc.

*Ví dụ:* polyme mạch thẳng có thể vẫn gồm có cấu trúc mạch nhánh và mạch lưới nhưng mạch thẳng chiếm đa số.

Đặc điểm: polyme nhẹ, bền nên độ bền riêng lớn, chịu ăn mòn tốt

Hầu như không dẫn nhiệt, không dẫn nhiệt.

*b) Phân loại theo tính chịu nhiệt:*

Polyme nhiệt dẻo (thermoplastic): thường là các polyme mạch thẳng, ở nhiệt độ nhất định dưới tác dụng của lực các phân tử có thể trượt lên nhau có nghĩa là vật liệu có thể dẻo, chảy, nhưng ở nhiệt độ thấp hơn nó lại rắn trở lại. Gọi là polyme nhiệt dẻo vì nhiệt độ càng tăng thì tính dẻo càng tăng. Polyme nhiệt dẻo là loại polyme có giá trị thương mại quan trọng nhất.

Polyme nhiệt rắn (thermoset): là các polyme hay oligome (polyme có khối lượng phân tử không cao lắm) chúng thường có cấu trúc không gian. Được chế tạo từ các polyme mạch thẳng, hoặc nhánh bé nấu chảy rồi cho thêm vào các chất đóng rắn → tạo hình dưới tác dụng xúc tác của các chất đóng rắn → chuyển thành mạch không gian thuận nghịch.

Khác polyme nhiệt dẻo, polyme nhiệt rắn ở nhiệt độ cao không bị chảy mềm và không hòa tan vào dung môi thành polyme nhiệt rắn, không có khả năng tái sinh.

c) *Phân loại theo lĩnh vực áp dụng*: chất dẻo, sợi, cao su, sơn, keo.

## 8.4. Vật liệu composites

### 8.4.1. Khái niệm

Sự phát triển mạnh mẽ của công nghiệp hiện đại dẫn tới các nhu cầu to lớn về loại vật liệu đồng thời có nhiều tính chất mà các loại vật liệu vừa học (kim loại, ceramic, polyme) đứng riêng rẽ không có được mà nổi bật là loại vừa bền lại vừa nhẹ, rẻ lại có tính chống ăn mòn cao. Composites (hay còn gọi là vật liệu kết hợp) ra đời trong mấy chục năm gần đây đáp ứng được các yêu cầu, đã ứng dụng và phát triển tới trình độ cao quy luật kết hợp - một quy luật phổ biến trong tự nhiên. Ngành khoa học và công nghệ về composites đã có nhiều sản phẩm dùng trong mọi lĩnh vực: từ ô tô, máy bay cho đến vật liệu chỉnh hình.

*Vậy composites là vật liệu nhiều pha khác nhau về mặt hóa học, hầu như không tan vào nhau, phân cách nhau bằng ranh giới pha, kết hợp lại nhờ sự can thiệp kỹ thuật của con người theo những sơ đồ thiết kế trước, nhằm tận dụng và phát triển những tính chất ưu việt của từng pha trong composites cần chế tạo.*

### 8.4.2. Đặc điểm

Composites có các đặc điểm chính sau đây:

- Là vật liệu nhiều pha chúng thường rất khác nhau về bản chất, không hòa tan lẫn nhau và phân cách nhau bằng ranh giới pha. Trong thực tế, phần lớn composites là loại hai pha gồm nền là pha liên tục trong toàn khối, cốt là pha phân bố gián đoạn.

- Nền và cốt có tỷ lệ, hình dáng, kích thước và sự phân bố theo thiết kế đã định trước.

- Tính chất của các pha thành phần được kết hợp lại để tạo nên tính chất chung của composites. Tuy nhiên đó không phải là sự cộng đơn thuần tất cả các tính chất của các pha thành phần khi chúng đứng riêng rẽ mà chỉ lựa chọn trong đó những tính chất tốt và phát huy thêm.

### 8.4.3. Phân loại

Thông thường dùng cách phân loại theo đặc trưng của nền và cốt, tức các pha cơ bản. Theo bản chất của nền có:

- Composites nền chất dẻo (polyme) .
- Composites nền kim loại.
- Composites nền ceramic.
- Composites nền hỗn hợp nhiều pha.

Theo đặc điểm cấu trúc của cốt có thể phân loại composites thành ba nhóm: composites cốt hạt, composites cốt sợi và composites cấu trúc .

**Composites hạt:** Composites hạt là loại có cốt là các hạt đẳng hướng trục, cứng, bền (oxyt, nitrit, cacbit, borit) đôi khi là các hạt mềm như grafit, mica thuộc loại chống ma sát, không thuộc loại (composites) kết cấu.

**Composites hạt thô:** Composites hạt thô rất đa dạng và được sử dụng phổ biến trong các lĩnh vực công nghiệp, xây dựng.

*Đặc điểm:* Khái niệm “hạt thô” được dùng để chỉ tương tác giữa nền và cốt không xảy ra ở mức độ nguyên tử, phân tử, lúc này sự hóa bền có được là nhờ sự cản trở biến dạng của nền ở vùng lân cận với hạt cốt do sự chèn ép theo quan điểm của cơ học môi trường liên tục.

#### **Các composites hạt thô thông dụng**

*Hợp kim cứng:* được tạo ra bằng phương pháp luyện kim tinh bột cũng có thể coi là composites hạt thô, trong đó các phần tử cứng là cacbit: WC, TiC, TaC được liên kết bằng Co (nền). Hợp kim cứng là vật liệu cắt rất thông dụng với hiệu quả kinh tế cao.

Các hợp kim làm tiếp điểm có sự kết hợp tốt của các kim loại khó chảy (W, Mo) với các kim loại có tính dẫn nhiệt cao (Cu, Ag) cũng là loại composites hạt thô nền kim loại, trong đó có một tính chất (E) của loại nền Cu cốt W đã được trình bày.

*Bê tông:* là hạt composites hạt thô nền ceramic được dùng rộng rãi nhất. Trong bê tông, cốt chính là các hạt rắn khá lớn (đá, sỏi) hay nhỏ (cát vàng) được liên kết với nhau bởi nền cứng là xi măng.

Người ta có thể đưa các hạt với vai trò chất độn vào polyme để cải thiện độ bền, tính chống mài mòn, ổn định kích thước, chịu nhiệt, lúc đó sản phẩm polyme thu được là composites hạt thô nền polyme.

## **8.5. Dầu mỡ**

### **8.5.1. Dầu**

*a) Tính chất*

Khi sử dụng dầu cần chú ý một số đặc tính sau:

- + Độ nhớt: Đặc trưng cho độ loãng của dầu. Độ nhớt thay đổi theo nhiệt độ. Nhiệt độ càng cao dầu càng loãng.
- + Nhiệt độ bắt lửa là nhiệt độ mà ở đó hơi dầu bốc cháy khi gặp lửa. Đối với dầu máy dùng trong cơ khí  $t_{bl}^0 > 160^0C$ .
- + Nhiệt độ đông đặc là nhiệt độ mà ở đó dầu đặc lại (với các thiết bị dùng ở nhiệt độ thấp phải chú ý nhiệt độ này).

*b) Công dụng*

- + Dùng chủ yếu bôi trơn làm giảm ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc của các chi tiết máy.
- + Bảo vệ kim loại khỏi bị ăn mòn.
- + Làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong ...

**8.5.2. Mỡ**

*a) Tính chất* + Có thể trọng lượng riêng nhỏ:  $0,8 \div 1 \text{g/cm}^3$

+ Ở thể đặc màu vàng hoặc nâu.

+ Có khả năng chống gỉ hoặc bôi trơn tốt.

*b) Công dụng:* Dùng chủ yếu để bảo vệ các dụng cụ, chi tiết máy khi bảo quản vận chuyển. Mỡ còn dùng bôi trơn ở các bộ phận khó giữ dầu (như cáp của cần trục) hoặc bộ phận lâu mới cần tra chất bôi trơn.

# PHỤ LỤC

## 1 - Thành phần hóa học và cơ tính của thép xây dựng hợp kim thấp

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %					Cơ tính		
	C	Si	Mn	Cr	khác	$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_{0.2}$ , MPa	$\delta$ , %
19Mn	0.16-0.22	0.2-0.4	0.7-1.1	<0.3		490	340	22
09Mn2	≤0.12	0.2-0.4	1.5-1.8	<0.3		470	340	21
14Mn2	0.12-0.18	0.2-0.4	1.2-1.7	<0.3		470	340	21
17MnSi	0.14-0.20	0.4-0.6	1.2-1.6	<0.3		520	350	23
14CrMnSi	0.11-0.16	0.4-0.7	0.9-1.3	0.5-0.8		500	350	22
15CrSiNiCu	0.12-0.18	0.4-0.7	0.4-0.7	0.6-0.9	0.5-0.8Ni 0.2-0.4Cu		350	21
35CrSi	0.30-0.37	0.6-0.9	0.8-1.2	<0.3			600	14
18Mn2Si	0.16-0.20	0.6-0.9	1.2-1.6	<0.3			600	14

## 2 - Thành phần hóa học của các thép thấm cacbon

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %				
	C	Cr	Ni	Mn	Khác
C10	0.07-0.14	<0.25	<0.25	0.35-0.65	
C20	0.17-0.24	<0.25	<0.25	0.35-0.65	
15Cr	0.12-0.18	0.70-1.00	-	0.40-0.70	
20Cr	0.17-0.23	0.70-1.00	-	0.50-0.80	
15CrV	0.12-0.18	0.80-1.00	-	0.40-0.70	0.06-0.12V
20CrNi	0.17-0.23	0.45-0.75	1.00-1.40	0.40-0.70	
12CrNi3A	0.09-0.16	0.60-0.90	2.75-3.15	0.30-0.60	
12Cr2Ni4A	0.09-0.15	1.25-1.65	3.25-3.65	0.30-0.60	
18Cr2Ni4MoA	0.14-0.20	1.35-1.65	4.00-4.40	0.25-0.55	0.03-0.04Mo
18CrMnTi	0.17-0.23	1.00-1.30	-	0.80-1.00	0.03-0.09Ti
25CrMnTi	0.22-0.29	1.00-1.30	-	0.80-1.00	0.03-0.09Ti
30CrMnTi	0.24-0.32	1.00-1.30	-	0.80-1.00	0.03-0.09Ti
25CrMnMo	0.23-0.29	0.90-1.20	-	0.90-1.20	0.20-0.30Mo

## 3 - Thành phần hóa học của một số thép hóa tốt

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %					
	C	Cr	Mn	Si	Ni	Khác
C40	0.37-0.44	<0.25	<0.8	<0.37	<0.25	
C45	0.42-0.49	<0.25	<0.8	<0.37	<0.25	
40Cr	0.36-0.44	0.80-1.10	<0.8	<0.4	<0.3	
40CrB	0.37-0.45	0.80-1.10	<0.8	<0.4	<0.3	0.002-0.005B
40CrMnB	0.37-0.45	0.80-1.10	0.7-1.0	<0.4	<0.3	
30CrMnSi	0.28-0.35	0.80-1.10	0.8-1.1	0.9-1.2	<0.3	
40CrNi	0.36-0.44	0.45-0.75	<0.8	<0.4	1.0-1.4	
40CrNiMo	0.37-0.44	0.60-0.90	<0.8	<0.4	1.2-1.6	0.15-0.25Mo
40CrMnTiB	0.38-0.45	0.80-1.10	0.7-1.0	<0.4	<0.3	0.03-0.09Ti 0.002-0.005B

38CrNi3MoV	0.33-0.42	1.20-1.50	<0.8	<0.4	3.0-3.4	0.35-0.45Mo 0.1-0.2V
------------	-----------	-----------	------	------	---------	-------------------------

#### 4 - Thành phần hóa học của thép đàn hồi

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %				
	C	Mn	Si	Cr	Khác
C70	0.67-0.75	0.5-0.8	0.17-0.37	<0.25	
65Mn	0.62-0.70	0.9-1.2	0.17-0.37	-	
60Si2	0.57-0.65	0.6-0.9	1.50-2.0	-	
60SiMn	0.55-0.65	0.8-1.0	1.30-1.80	-	
50CrV	0.46-0.54	0.5-0.8	0.17-0.37	0.8-1.1	0.1-0.2V
60Si2CrA	0.56-0.64	0.5-0.8	1.40-1.80	0.7-1.0	
60Si2Ni2A	0.56-0.64	0.5-0.8	1.40-1.80	-	1.4-1.7Ni

#### 5 - Thành phần hóa học và cơ tính của thép dễ cắt

Mác thép	Thành phần hóa học, %				Cơ tính			
	C	Mn	S	P	$\sigma_b$ , MPa	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	HB
12S	0.08-0.16	0.60-0.90	0.08-0.20	0.08-0.15	420-570	22	36	160
20S	0.15-0.25	0.60-0.90	0.08-0.12	$\leq 0.06$	460-510	20	30	168
30S	0.25-0.35	0.70-1.00	0.08-0.12	$\leq 0.06$	520-670	15	25	185
40MnS	0.35-0.45	1.20-1.55	0.18-0.30	$\leq 0.05$	600-750	14	20	207

#### 6 - Một số loại thép dụng cụ chính của Mỹ (Tiêu chuẩn SAE/AISI)

Loại thép, ký hiệu	Thành phần các nguyên tố								Công dụng
	C	Mn	Cr	V	W	Mo	Co	Khác	
<b>W – thép tôi nước</b>									
-W1	0.6-1.4	-	-	-	-	-	-	-	- Dụng cụ gia công gỗ, dụng cụ cầm tay, dụng cụ chịu va đập ở nhiệt độ thường,...
-W2	0.6-1.4	-	-	0.25	-	-	-	-	
<b>S- Thép chịu va đập</b>									
-S1	0.5	-	1.5	2.5	-	-	-	-	Dụng cụ thủy lực, kéo, khuôn dập,...
-S2	0.55	0.8	-	-	-	-	0.4	2Si	
<i>Thép làm việc ở nhiệt độ thấp (O, A, D):</i>									
<b>O – Thép tôi dầu</b>									
-O1	0.9	1.0	0.5	-	-	-	-	-	Dụng cụ cắt, khuôn dập nguội
-O2	0.9	1.6	-	-	-	-	-	-	
<b>A- Thép tôi trong không khí</b>									
-A2	1.0	-	5.0	-	-	1.0	-	-	Lỗ kéo sợi, trục cán nhỏ
-A4	1.0	2.0	1.0	-	-	1.0	-	-	
<b>D – Thép cacbon và crôm</b>									
-D2	1.5	-	12.0	-	1.0	1.0	-	-	Trục cán, khuôn dập



-D3	2.25	-	12.0	-	-	1.0	-	-	ngươi, calip,...
<b>H – Thép làm việc ở nhiệt độ cao</b>									
-H10	0.40	-	3.25	0.4	-	2.5	-	-	Khuôn ép kim loại (Al, Mg). khuôn đúc, khuôn rèn-dập,...
-H21	0.35	-	3.5	-	0.9	-	-	-	
-H42	0.60	-	4.0	2.0	-	8.0	-	-	
<b>T- Thép gió họ wolfram</b>									
-T1	0.75	-	4.0	1.0	18.0	-	-	-	Dao tiện, phay, bào, mũi khoan,...
-T6	0.80	-	4.5	1.5	20.0	-	12	-	
<b>M- Thép gió họ W và Mo</b>									
-M1	0.80	-	4.1	1.0	1.5	8.0	-	-	Dụng cụ cắt nhanh, có tính chống mài mòn rất cao
-M2	0.90	-	4.0	2.0	6.0	5.0	-	-	
-M30	0.80	-	2.0	1.25	2.0	0.8	5.0	-	
<b>P – Thép làm khuôn ép Polyme</b>									
-P1	0.17	-	2.0	-	-	0.2	-	0.5Ni	Dụng cụ ép đùn nhựa,...
-P2	0.10	-	2.6	-	-	-	-	1.25Ni	

7 - Thành phần hóa học của một số thép dụng cụ hợp kim thấp

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %				
	C	Cr	Mn	Si	W
130Cr05	1.25-1.40	0.40-0.60	-	<0.35	-
100Cr2	0.95-1.10	1.30-1.60	-	<0.35	-
90CrSi	0.85-0.95	0.95-1.25	-	1.20-1.60	-
90Mn2	0.85-0.95	-	1.5-1.7	-	-
140CrW5	1.25-1.50	0.40-0.70	-	<0.30	4.5-5.5

8 - Thành phần hóa học của một số loại thép gió

Mác thép	Thành phần các nguyên tố, %					
	C	Cr	W	V	Mo	Co
Nhóm thép gió có năng suất cắt bình thường						
80W18Cr4VMo	0.70-0.80	3.8-4.4	17.0-18.5	1.4-1.4	≤1	-
90W9Cr4V2Mo	0.85-0.95	3.8-4.4	8.5-10.0	2.0-2.6	≤1	-
85W12Cr3V2Mo	0.80-0.90	3.1-3.6	12.0-13.0	1.5-1.9	≤1	-
85W6Mo5Cr4V2	0.80-0.88	3.8-4.4	5.5-6.5	1.7-2.1	5.0-5.5	-
145W9V5Cr4Mo	1.40-1.50	3.8-4.4	9.0-10.5	4.3-5.1	≤1	-
Nhóm thép gió có năng suất cao						
90W18Cr4V2Mo	0.85-0.95	3.8-4.4	17.5-19.0	1.8-2.4	≤1	-
95W9Co5Cr4V2Mo	0.90-1.00	3.8-4.4	9.0-10.5	2.0-2.6	≤1	5.0-6.0
95W9Co10Cr4V2Mo	0.90-1.00	3.8-4.4	9.0-10.5	2.0-2.6	≤1	9.5-10.5
150W10Co5V5Cr4Mo	1.45-1.55	4.0-4.6	10.0-11.5	4.3-5.1	≤1	5.0-6.0
160W12Co5V4Cr4Mo	1.55-1.65	4.0-4.6	12.0-13.5	4.3-5.1	≤1	5.0-6.0
90W18Co5Cr4V2Mo	0.85-0.95	3.8-4.4	17.5-19.0	1.8-2.4	≤1	5.0-6.0
130W14V4Cr4Mo	1.20-1.30	4.0-4.6	13.0-14.5	3.4-4.1	≤1	-
90W6Mo5Co5Cr4V2	0.85-0.95	3.8-4.4	5.5-6.5	1.7-2.1	5.0-5.5	5.0-6.0

9 - Một số mức gang thông dụng (Theo tiêu chuẩn ASTM)

Mức gang	Ký hiệu tiêu chuẩn	Giới hạn bền kéo min		Giới hạn chảy min		Độ dẻo min, %	Độ cứng max, HB	Mức tương đương theo tiêu chuẩn Liên Xô cũ
		ksi	MPa	ksi	MPa			
<b>Gang xám</b>								
No.20B*	A48	20	138					
No.25B	A48	25	172					C 8-36
No.30B	A48	30	207					C 1-40
No.35B	A48	35	241					C 4-44
No.40B	A48	40	276					C 8-48
No.45B	A48	45	310					C 2-52
No.50B	A48	50	345					C 5-56
No.55B	A48	55	379					C 8-60
No.60B	A48	60	414					
<b>Gang cầu</b>								
32510	A 47-84	50		32.5		10	156	
35018	A 47-84	53		35		18	156	
22010	A47M-90		340		220	10	156	
40010	A220-88	60		40		10	149-197	
45008	A220-88	65		45		8	156-197	
45006	A220-88	65		45		6	156-207	
50005	A220-88	70		50		5	179-229	
60004	A220-88	80		60		4	197-241	
70003	A220-88	85		70		3	217-269	
80002	A220-88	95		80		2	241-285	
90001	A220-88	105		90		1	269-231	
280M10	A220M-88		400		280	10	149-197	B 0-10
310M8	A220M-88		450		310	8	156-197	
310M6	A220M-88		450		310	6	156-207	
340M5	A220M-88		480		340	5	179-229	B 5-5
410M4	A220M-88		550		410	4	197-241	
480M3	A220M-88		590		480	3	217-269	
550M2	A220M-88		650		550	2	241-285	
620M1	A220M-88		720		620	1	269-231	
<b>Gang dẻo</b>								
0-40-18	A 536-84	60	414	40	276	18		
5-45-12	A 536-84	65	448	45	310	12		
0-55-06	A 536-84	80	552	55	379	6.0		
10-70-03	A 536-84	100	689	70	483	3.0		
10-90-02	A 536-84	120	827	90	621	2.0		
<i>Ghi chú:</i> Sau các ký hiệu mức gang có thể có các chữ cái A, B, C, S phụ thuộc vào đường kính mẫu thử, ở đây, B ứng với mẫu có đường kính là 30.5 mm.								

10 - Bảng đối chiếu một số mác thép và gang của các nước

TCVN	ГОСТ	GB	UNS	AISI/SAE	JIS	AFNOR	DIN	BS
C45	45	45	G10450	1045	S45C	X45	C45	06A45
40Cr	40X	40Cr	G51400	5140	SCr440	42C4	42C4	530A40
OL100Cr2	ИИХ15	GCr15	G52986	42100	SUJ2	100C6	100C6	535A99
20Cr13	20X13	2X13	S42000	420	SUS420J1	Z20C13	X20Cr13	420S29
08Cr18Ni10	08X18H90	0Cr18Ni9	S30200	304	SUS304	Z7CN18.09	X15Cr-Ni18	304S31
CD100	Y10	T10	T72301	W109	SK4	Y1-90	10	-
210Cr12	X12	Cr12	T30403	D3	SKD1	Z200C12	C105W1	BD3
80W18Cr4V	P18	W18Cr4V	T12001	T <sub>1</sub>	SKH2	Z80WCV	X210C12	BT1
				-----		18-04-01	S 18-0-1	
				ASTM				
				-----				
CT34	C <sub>T2</sub>	A2	-	36	SS330	F3360	Fe360	Fe360
GX28-48	C <sub>430</sub>	HT300	F12803	No40	FC300	FGL300	GG30	260
GC50-2	B <sub>450</sub>	QT500-7	F33800	8055-06	FCD500	FGS500-7	GGG50	B500/7

TCVN: Tiêu chuẩn Việt Nam

ГОСТ: Tiêu chuẩn Nga

GB: Tiêu chuẩn Trung Quốc

UNS: Tiêu chuẩn Mỹ

AISI/SAE: Tiêu chuẩn Mỹ

JIS: Tiêu chuẩn Nhật Bản

AFNOR: Tiêu chuẩn Pháp

DIN: Tiêu chuẩn Đức

BS: Tiêu chuẩn Anh

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Công Dưỡng (2000), *Vật liệu học*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Nghiêm Hùng (1999), *Kim loại và nhiệt luyện*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
- [3] Nghiêm Hùng (2010), *Vật liệu học cơ sở*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật.
- [4] PGS. PTS. Nguyễn Hoàn Sơn (2000), *Vật liệu cơ khí*, NXB Giáo dục.
- [5] PGS. TS. Hoàng Tùng (2002), *Giáo trình Vật liệu và Công nghệ cơ khí*, NXB Giáo dục.
- [6] Chu Thiên Trường (2000), *Vật liệu học*, Nhà xuất bản giáo dục.
- [7] William F Smith. *Materials Science and Engineering* (second edition).