

TỦ SÁCH ĐẠI HỌC TẠI CHÚC BÁCH KHOA HÀ NỘI

KHOA LUYỆN KIM - BỘ MÔN VẬT LIỆU HỌC VÀ NHIỆT LUYỆN

NGHIÊM HÙNG

GIÁO TRÌNH
VẬT LIỆU HỌC
(DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC NGÀNH CƠ KHÍ)



HÀ NỘI - 1999

KHOA LUYỆN KIM - BỘ MÔN VẬT LIỆU HỌC VÀ NHIỆT LUYỆN

NGHIÊM HÙNG

GIÁO TRÌNH
VẬT LIỆU HỌC

(DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC NGÀNH CƠ KHÍ)

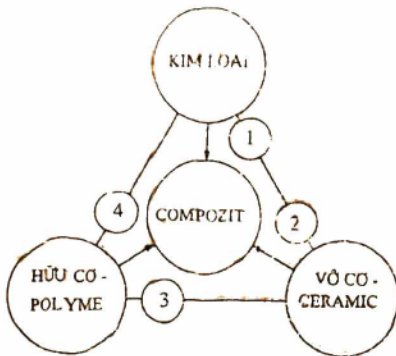
HÀ NỘI - 1999

MỞ ĐẦU

Vật liệu học là khoa 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 và ngày một tốt hơn.

0.1. Khái niệm về vật liệu

Vật liệu ở đây chỉ dùng để chỉ những vật rắn mà con người sử dụng để chế tạo dụng cụ, máy móc, thiết bị, xây dựng công trình và ngay cả để thay thế các bộ phận cơ thể hoặc thể hiện ý đồ nghệ thuật. Như vậy tất cả các chất lỏng, khí cho dù rất quan trọng song cũng không phải là đối tượng nghiên cứu của môn học. Dựa theo cấu trúc - tính chất đặc trưng, người ta phân biệt bốn nhóm vật liệu chính (hình 0.1) như sau:



Hình 0.1. Sơ đồ minh họa các nhóm vật liệu và quan hệ giữa chúng:

1. bán dẫn,
2. siêu dẫn,
3. silicon,
4. polyme dẫn điện

Vật liệu kim loại. Vật liệu kim loại thường là tổ hợp chủ yếu của các nguyên tố kim loại, trong đó nhiều điện tử là của chung không thuộc về nguyên tử nào. Các tính chất điển hình của vật liệu kim loại là:

- dẫn nhiệt, dẫn điện cao,
- có ánh kim, phản xạ ánh sáng, không cho ánh sáng thường đi qua,
- dễ biến dạng dẻo (cán, kéo, rèn, ép),
- có độ bền cơ học, nhưng kém bền hóa học.

Ceramic (vật liệu vô cơ). Vật liệu này có nguồn gốc vô cơ, là hợp chất giữa kim loại, silic với á kim (ôxít, nitrit, cacbit), bao gồm khoáng vật đất sét, xi măng, thủy tinh. Các tính chất điển hình của vật liệu vô cơ - ceramic là:

- dẫn nhiệt và dẫn điện rất kém (cách nhiệt và cách điện),
- cứng, giòn, bền ở nhiệt độ cao, bền hóa học hơn vật liệu kim loại và vật liệu hữu cơ.

Polyme (vật liệu hữu cơ). Vật liệu này phần lớn có nguồn gốc hữu cơ mà thành phần hóa học chủ yếu là cacbon, hydro và các á kim, có cấu trúc đại phân tử. Các tính chất điển hình của vật liệu hữu cơ - polyme là:

- dẫn điện kém,
- khối lượng riêng nhỏ,
- nó chung dễ uốn dẻo, đặc biệt ở nhiệt độ cao,

- bền vững hóa học ở nhiệt độ thường và trong khí quyển; nóng chảy, phân hủy ở nhiệt độ tương đối thấp.

Compozit . Vật liệu này được tạo thành do sự kết hợp của hai hay cả ba loại vật liệu kể trên, mang hầu như các đặc tính tốt của các vật liệu thành phần. Ví dụ bê tông cốt thép (vô cơ - kim loại) vừa chịu kéo tốt (như thép) lại chịu nén cao (như bê tông). Hiện dùng phổ biến các compozit hệ kép: kim loại - polyme, kim loại - ceramic, polyme - ceramic với những tính chất mới lạ, rất hấp dẫn.

Ngoài ra có những nhóm phụ khó ghép vào một trong bốn loại trên:

- *bán dẫn, siêu dẫn nhiệt độ thấp, siêu dẫn nhiệt độ cao*, chúng nằm trung gian giữa kim loại và ceramic (trong đó hai nhóm đầu gần với kim loại hơn, nhóm sau cũng gần với ceramic hơn).

- *silicon* nằm trung gian giữa vật liệu vô cơ với hữu cơ, song gần với vật liệu hữu cơ hơn.

0.2. Vai trò của vật liệu

Muốn thực hiện được các giá trị vật chất đều phải thông qua sử dụng vật liệu cụ thể, như muốn tạo nên máy móc, ôtô, năng lượng ... phải có kim loại và hợp kim, thiết bị, đồ dùng điện tử phải có chất bán dẫn, xây dựng nhà cửa, công trình phải có xi măng và thép, các đồ dùng hàng ngày thường là chất dẻo, máy bay và xe đua rất cần compozit, tượng đài thường làm bằng hợp kim đồng - thiếc (bronze)...

Sự phát triển của xã hội loài người gắn liền với sự phát triển của công cụ sản xuất và kỹ thuật mà cả hai điều này cũng được quyết định một phần lớn nhờ vật liệu. Xã hội loài người phát triển qua các thời kỳ khác nhau gắn liền với vật liệu để chế tạo công cụ. Ở thời tiền sử con người chỉ biết dùng các công cụ làm bằng các vật liệu có sẵn trong thiên nhiên: gỗ, đá nên năng suất lao động rất thấp, không tạo được giá trị thặng dư. Sau khi người ta biết dùng các công cụ bằng các vật liệu qua chế biến: đồng (đúng ra là hợp kim đồng) và đặc biệt là sắt (đúng ra là thép) với các đặc tính cơ học tốt hơn hẳn: cứng hơn, bền hơn lại dẻo dai hơn nên không những tạo ra năng suất lao động cao hơn lại có tuổi thọ dài hơn, do vậy đã tạo nên được các đột biến về phát triển trong khoảng 2000 năm đặc biệt trong 100 ÷ 200 năm gần đây (cần nhớ là tuy không có phân định rạch ròi song hiện nay xã hội loài người vẫn còn ở thời kỳ đó sắt). Năng lượng đang đóng vai trò quyết định trong sự phát triển tiếp theo của loài người, kỹ thuật siêu dẫn một khi thành hiện thực sẽ tạo nên bước ngoặt mới, song kỹ thuật này chỉ có được nếu tìm được vật liệu siêu dẫn ở nhiệt độ đủ cao để có thể áp dụng trong thực tế. Có thể tìm thấy rất nhiều ví dụ khác về vai trò của vật liệu trong đời sống cũng như trong kỹ thuật.

Cho đến nay vật liệu kim loại thực sự đã có vai trò quyết định trong tiến hóa của loài người. Kim loại và hợp kim đang chiếm vị trí chủ đạo trong chế tạo công cụ và máy móc thường dùng: công cụ cầm tay, dụng cụ, máy công cụ, máy móc nói chung, ôtô, tàu biển, máy bay, đường sắt, cầu, tháp, cột, truyền dẫn điện, nhiệt... và trong sản xuất vũ khí, đạn dược. Như vậy hiện nay vật liệu kim loại vẫn còn có tầm quan trọng hàng đầu trong sản xuất cơ khí, giao thông vận tải, năng lượng, xây dựng và quốc phòng.

Chất dẻo - polyme từ giữa thế kỷ này đã trở thành nhóm vật liệu mới, hiện đang đóng vai trò ngày càng quan trọng và chiếm tỷ lệ ngày càng cao trong đời sống hàng ngày cũng như trong thiết bị, máy móc.

Vật liệu vô cơ - ceramic có lịch sử lâu đời hơn cả (từ thời kỳ đồ đá). Trong

quá trình phát triển, vật liệu này cũng được phổ biến một cách rộng rãi trong xây dựng và đời sống hàng ngày từ đồ gốm, sứ (chum, vại, bát, đĩa...) đến xi măng - bê tông, thủy tinh. Vật liệu chịu lửa cho đến các ceramic kết cấu hiện đại và thủy tinh siêu sạch làm cáp quang. Vật liệu kết hợp (compozit) được phát triển rất mạnh trong những năm gần đây, đáp ứng được các yêu cầu rất cao của chế tạo máy mà ba loại vật liệu kia không có được như rất nhẹ lại rất bền. Chắc chắn sự phát triển mạnh mẽ của loại vật liệu này sẽ tạo ra những thay đổi quan trọng cho ngành cơ khí.

0.3. Đối tượng của vật liệu học cho ngành cơ khí

Máy móc được cấu tạo từ nhiều chi tiết đòi hỏi các tính chất cơ khí rất khác nhau và điều quan trọng đối với kỹ sư 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. Môn học giúp ích cho những kỹ sư cơ khí tương lai làm được việc đó.

Vật liệu học trình bày trong sách này tuy có định hướng phục vụ riêng cho ngành cơ khí nói chung, đặc biệt cho hai ngành đào tạo then chốt là chế tạo máy và ô tô, song cũng bao quát được những nội dung quan trọng nhất của vật liệu học; hơn nữa lại là những kiến thức cơ bản không những có ích trong công việc kỹ thuật mà cả khi xử lý vật liệu trong đời sống hàng ngày.

Quan hệ cấu trúc - tính chất hay sự phụ thuộc của tính chất của vật liệu vào cấu trúc là nội dung cơ bản của toàn bộ môn học.

Cấu trúc là sự sắp xếp của các thành phần bên trong. Khái niệm về cấu trúc vật liệu bao gồm cả cấu trúc vĩ mô và vi mô.

Cấu trúc vĩ mô còn gọi là tổ chức thô đại (macrostructure) là hình thái sắp xếp của các phần tử lớn với kích thước quan sát được bằng mắt thường (tới giới hạn khoảng 0,3mm) hoặc bằng kính lúp (0,01mm).

Cấu trúc vi mô là hình thái sắp xếp của các phần tử nhỏ, không quan sát được bằng mắt hay lúp. Nó bao gồm:

- *Tổ chức tế vi* hay vi mô (microstructure) là hình thái sắp xếp của các nhóm nguyên tử hay phân tử với kích thước cỡ micromet hay ở cỡ các hạt tinh thể với sự giúp đỡ của kính hiển vi quang học hay kính hiển vi điện tử. Thường gấp hơn cả là tổ chức tế vi quang học cho phép phân ly được tới giới hạn cỡ 0,15 μm . Trong nghiên cứu cũng thường dùng tổ chức tế vi điện tử cho phép phân ly được tới giới hạn nhỏ hơn, cỡ chục nanomet (10nm).

- *Cấu tạo tinh thể* là hình thái sắp xếp và tương tác giữa các nguyên tử trong không gian, các dạng khuyết tật của mạng tinh thể. Để làm được việc này phải sử dụng tới phương pháp nhiễu xạ tia rơnghen cũng như một số kỹ thuật khác.

Tính chất bao gồm các tính chất: cơ học (cơ tính), vật lý (lý tính), hóa học (hóa tính), công nghệ và sử dụng.

Đối với vật liệu kết cấu, đặc biệt là vật liệu cơ khí, cơ tính có ý nghĩa quan trọng hàng đầu. Vì thế trong giáo trình này mối quan hệ cấu trúc - cơ tính được khảo sát khá kỹ càng và sẽ là tiền đề cho việc xác định thành phần hóa học của vật liệu cũng như chế độ gia công thích hợp. Ngoài cơ tính ra các vật liệu cơ khí cũng được quan tâm dưới khía cạnh ổn định hóa học trong khí quyển hay trong một số môi trường ăn mòn (axit, bazo, muối...). Thỏa mãn cơ - lý - hóa tính để ra nhưng chưa đủ để có thể chuyển hóa vật liệu thành sản phẩm phục vụ mục đích đề ra, mà

còn phải tính đến khả năng gia công - chế biến thành các hình dạng nhất định được gọi tổng quát là *tính công nghệ*. Nếu không có tính công nghệ thì dù vật liệu có ưu việt đến đâu cũng khó đưa vào sử dụng. Ví dụ: người ta đã tìm được một số chất siêu dẫn nhưng đều bị hạn chế bởi tính giòn quá cao không thể kéo thành dây dẫn được. Cuối cùng, tính sử dụng là tổng hợp của các chỉ tiêu: tuổi thọ, độ tin cậy (khả năng không gây ra sự cố) và giá thành cũng quyết định khả năng áp dụng của vật liệu cho mục đích đã chọn.

Nói chung giáo trình Vật Liệu Học (cơ khí) gồm bốn phần chính :

- *Cấu trúc và cơ tính*: trình bày các nguyên lý chung về mối quan hệ giữa cấu trúc và cơ tính cho vật liệu nói chung nhưng có nhấn mạnh hơn cho kim loại gồm cấu trúc tinh thể, tạo pha, tổ chức, biến dạng, phá hủy.

- *Hợp kim và biến đổi tổ chức*: trình bày các tổ chức của hợp kim cũng như các biến đổi pha và tổ chức mà dạng điển hình và quan trọng nhất, thiết thực nhất là nhiệt luyện thép.

- *Vật liệu kim loại*: trình bày tổ chức, thành phần hóa học, cơ tính, chế độ nhiệt luyện và công dụng của các mác thép, gang, hợp kim màu và bột .

- *Vật liệu phi kim loại*: trình bày cấu trúc, thành phần hóa học, cơ tính, các phương pháp tạo hình và công dụng của ceramic, polyme và compozit. Sau cùng, cần nhấn mạnh là sử dụng hợp lý vật liệu là một trong những mục tiêu quan trọng hàng đầu của môn học, không thể tách rời tiêu chuẩn hóa cũng như các phương pháp kiểm tra, đánh giá. Một trong các yêu cầu đề ra là người học phải đạt được khả năng xác định được mác hay ký hiệu vật liệu theo tiêu chuẩn Việt Nam và các nước công nghiệp phát triển.

0.4. Các tiêu chuẩn vật liệu

Các nước đều đề ra các quy phạm trong việc sản xuất, gia công, chế biến, sử dụng, bảo quản các vật liệu nói chung, đặc biệt là cho vật liệu kim loại, đó là các cơ sở pháp lý cũng như kỹ thuật trong mọi khâu từ sản xuất, lưu thông cho đến sử dụng. Trong điều kiện của nước ta chúng ta cần có hiểu biết các tiêu chuẩn sau.

- Tiêu chuẩn Việt Nam - TCVN. Về cơ bản giáo trình được biên soạn theo tiêu chuẩn Việt Nam: các ký hiệu có trong các tiêu chuẩn cụ thể được gọi là *mác* (mark) Tuy nhiên do trình độ phát triển còn thấp và ra đời chưa lâu nên còn nhiều lĩnh vực TCVN chưa đề cập đến, trong trường hợp này giáo trình sẽ dùng từ *ký hiệu* để mã hóa các hợp kim theo cách ký hiệu đã được quy định tổng quát trong TCVN 1759-75. Ngoài ra cũng cần nói thêm là về cơ bản TCVN đã dựa theo các nguyên tắc của ГОСТ, nên giữa hai tiêu chuẩn này có nhiều nét tương đồng.

- Tiêu chuẩn Liên Xô (cũ) hay tiêu chuẩn Nga (hiện nay) đều được viết tắt là ГОСТ, đã được thịnh hành ở nước ta trong thời gian trước đây và vẫn còn quen dùng cho đến hiện nay.

- Các tiêu chuẩn Mỹ rất phổ biến trên thế giới, đặc biệt trong các sách giáo khoa, tạp chí kỹ thuật, tài liệu giao dịch của các hãng sản xuất. Việc hiểu biết các tiêu chuẩn Mỹ có tác dụng to lớn trong việc hòa nhập kinh tế với thế giới. Các tiêu chuẩn vật liệu kim loại thường gặp của Mỹ là các hệ thống ASTM, AISI, SAE, AA, CDA, ACI UNS.

- Tiêu chuẩn Nhật Bản JIS khá thông dụng trong các nước Châu Á và cũng được biết đến trên thế giới.

- Tiêu chuẩn Châu Âu EN và các nước Châu Âu : Đức DIN, Pháp NF, Anh BS cũng là các tiêu chuẩn quan trọng cần biết.

Trong giáo trình này ngoài trình bày các mác, ký hiệu theo TCVN cũng sẽ có kết hợp trình bày các mác của Nga, Mỹ và Nhật (tỉ mỉ về các mác vật liệu kim loại của các nước kể trên và các nước Châu Âu có thể tham khảo ở "Sách tra cứu thép, gang thông dụng" của cùng tác giả do Trường Đại Học Bách Khoa Hà Nội in năm 1997).

Giáo trình được trình bày từ giản đơn đến phức tạp, từ vật liệu cổ điển, truyền thống đến các loại mới phát triển. Tuy là môn học được coi là kỹ thuật cơ sở với những lý thuyết khá cơ bản song cũng có tính thực tiễn rất sâu sắc, gắn liền với đời sống thực tế cũng như các công việc kỹ thuật hàng ngày phải giải quyết của các kỹ sư cơ khí. Do vậy ngoài phần nghe giảng trên lớp sinh viên còn phải :

- Thực hiện các bài thực nghiệm về cấu trúc, tính chất và sự biến đổi cấu trúc - cơ tính ở phòng thí nghiệm. Những bài thí nghiệm như thế giúp không những nắm vững, hiểu sâu các bài đã học mà còn giúp rất nhiều cho các công việc kỹ thuật có liên quan về sau.

- Làm các bài tập, trả lời các câu hỏi, giải thích các hiện tượng, so sánh các vật liệu và phương pháp khác nhau.

- Do có tính thực tiễn rất cao người học cần chú ý liên hệ đến các hiện tượng thường gặp, tham khảo thêm các sách có liên quan để giải quyết tốt các vấn đề về vật liệu đặt ra trong khi học các môn học khác cũng như trong các nhiệm vụ kỹ thuật sau này.

Phần I CẤU TRÚC VÀ CƠ TÍNH

Trong phần này có hai chương, trình bày hai nội dung cơ bản của vật liệu là cấu trúc và cơ tính cũng như sự phụ thuộc của cơ tính vào cấu trúc, đặt cơ sở cho việc nghiên cứu các phương pháp hóa bền và các vật liệu cơ khí sẽ được đề cập trong các phần tiếp theo. Chính vì lý do đó các kiến thức trong phần này có tính chất cơ sở và tầm quan trọng đặc biệt.

Chương 1 CẤU TRÚC TINH THỂ VÀ SỰ HÌNH THÀNH

Như đã trình bày, tính chất (đặc biệt là cơ tính) của vật rắn phụ thuộc chủ yếu vào cách sắp xếp của các phần tử cấu thành (nguyên tử, phân tử, ion) và lực liên kết giữa 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. Hãy bắt đầu từ việc khảo sát dạng cấu trúc cơ bản, đơn giản nhất này.

1.1. Cấu tạo và liên kết nguyên tử

1.1.1. Khái niệm cơ bản về cấu tạo nguyên tử

Như đã học ở môn " Vật Lý ", nguyên tử là hệ thống gồm hạt nhân (mang điện tích dương) và các điện tử bao quanh (mang điện tích âm) mà ở trạng thái bình thường được trung hòa về điện. Hạt nhân gồm proton (điện tích dương) và neutron (không mang điện). Các điện tử phân bố quanh hạt nhân tuân theo các mức năng lượng từ thấp đến cao.

Cấu hình điện tử (electron configuration) chỉ rõ: số lượng tử chính (1, 2, 3...), ký hiệu phân lớp (s, p, d...), số lượng điện tử thuộc phân lớp (số mũ trên ký hiệu phân lớp). Ví dụ: Cu có $Z = 29$ có cấu hình điện tử là $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$, qua đó biết được số điện tử ngoài cùng (ở đây là 1, hóa trị I).

Trong số kim loại có nhóm kim loại chuyển tiếp là loại có phân lớp ở sát phân lớp ngoài cùng bị thiếu điện tử. Ví dụ: Fe có $Z = 26$ có cấu hình điện tử là $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ (trong trường hợp này phân lớp 3d bị thiếu, nếu đủ phải là 10 như trường hợp của Cu).

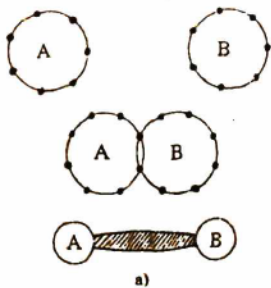
1.1.2. Các dạng liên kết nguyên tử trong chất rắn

Hãy xem trong các loại vật liệu khác nhau tồn tại các dạng liên kết nào. Chính sự khác nhau của các dạng liên kết do cùng là nguyên nhân tạo nên cơ tính khác nhau giữa các loại vật liệu.

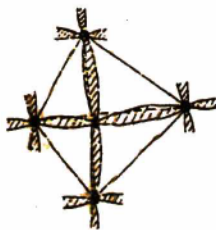
a. Liên kết đồng hóa trị

Liên kết này tạo ra khi hai (hoặc nhiều) nguyên tử gộp chung nhau một số điện tử hóa trị để có đủ tám điện tử ở lớp ngoài cùng. Có thể lấy ba ví dụ như sau (hình 1.1).

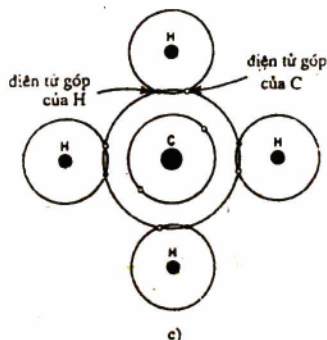
• Clo có 7 điện tử ở lớp ngoài cùng, mỗi nguyên tử gộp chung 1 điện tử nên một phân tử gồm hai nguyên tử clo sẽ chung nhau 2 điện tử làm cho lớp điện tử ngoài cùng của nguyên tử nào cũng đủ 8 (hình 1.1a).



a)



b)



c)

Hình 1.1. Sơ đồ biểu diễn liên kết đồng hóa trị trong phân tử clo (Cl_2) (a), giecmani (Ge) (b), và metan (CH_4) (c).

• Giecmani (Ge) có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng ($4s^2, 4p^2$), mỗi nguyên tử gộp chung 1 điện tử, nên một nguyên tử đã cho cần có bốn nguyên tử xung quanh để tạo nên cấu trúc bền vững với 8 điện tử (hình 1.1b). Liên kết đồng hóa trị xảy ra giữa các nguyên tử cùng loại (của nguyên tố hóa học trong các nhóm từ IVB VIIIB như Cl, Ge) là loại đồng cực, còn giữa các nguyên tố khác loại như CH_4 là loại dị cực.

• Metan (CH_4). Cacbon chỉ có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng như vậy là nó thiếu tới 4 điện tử để đủ 8. Trong trường hợp này nó sẽ kết hợp với bốn nguyên tử hydro để mỗi nguyên tử này góp cho nó 1 điện tử làm cho lớp điện tử ngoài cùng đủ 8. Đó là bản chất lực liên kết trong phân tử metan (CH_4) như biểu thị ở hình 1.1c.

Nói chung liên kết đồng hóa trị là liên kết mạnh, tuy nhiên cường độ của nó phụ thuộc rất mạnh vào đặc tính liên kết giữa điện tử hóa trị với hạt nhân. Ví dụ: cacbon có 6 điện tử trong đó 4 là điện tử hóa trị hầu như liên kết trực tiếp với hạt nhân nếu như nó ở dạng kim cương sẽ có cường độ liên kết rất mạnh, nhiệt độ chảy lên tới 3550°C ; trong khi đó thiếc có tới 50 điện tử trong đó chỉ có 4 là điện

