

TRẦN THẾ SAN - NGUYỄN NGỌC PHƯƠNG  
KHOA CƠ KHÍ CHẾ TẠO MÁY  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SỬ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

# VẬT LIỆU

## CƠ KHÍ HIỆN ĐẠI



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

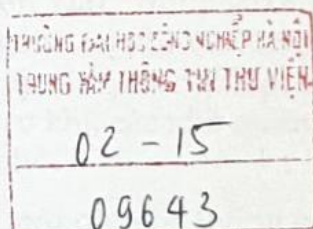


TRẦN THẾ SAN - NGUYỄN NGỌC PHƯƠNG  
Khoa Cơ Khí Chế Tạo Máy  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM



# VẬT LIỆU

## CƠ KHÍ HIỆN ĐẠI



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

# Giới thiệu

**T**hế kỷ XX cho đến nay đang chứng kiến ba cuộc cách mạng lớn, hợp thành cách mạng khoa học công nghệ, đó là cách mạng công nghệ vật liệu, công nghệ thông tin, và công nghệ sinh học. Ba cuộc cách mạng này, tuy ba nhưng là một, chúng gắn bó mật thiết với nhau, đưa đến những thành tựu rực rỡ trong cuộc sống hàng ngày của mọi người.

Để đưa đất nước ta nhanh chóng trở thành một nước công nghiệp hóa, với nền kinh tế tri thức hiện đại, hội nhập sâu rộng với quốc tế, điều quan trọng không chỉ là ứng dụng các thành tựu của cách mạng khoa học công nghệ mà còn phải nghiên cứu, sáng chế ra các công nghệ mới.

Cách mạng công nghệ đòi hỏi máy móc mới, vật liệu mới, trí thức mới. Các công nghệ mới đang được chuyển giao vào Việt Nam ngày càng nhiều. Để sử dụng tối ưu các công nghệ và vật liệu mới, đội ngũ người lao động phải có kiến thức sâu rộng và trình độ ngày càng cao. Điều này được phản ánh rõ rệt trong thực tiễn sản xuất, do đó cần có cải tiến mới về chương trình và phương pháp trong giáo dục - đào tạo, gồm cả giáo dục phổ thông, dạy nghề, và đào tạo ở bậc đại học. Các máy móc, thiết bị, sản phẩm cơ khí, khi xuất khẩu ra nước ngoài đều phải ghi rõ chủng loại và xuất xứ của vật liệu chế tạo.

Cuốn sách "**Vật Liệu Cơ Khí Hiện Đại**" được soạn thảo cho đối tượng là học viên cao học, sinh viên đại học các ngành cơ khí và công nghệ, học viên các trường cao đẳng, trung cấp nghề, và trung cấp chuyên nghiệp, các kỹ sư thiết kế và kỹ sư công nghệ, công nhân tại các công ty cơ khí, các nhà quản lý công nghiệp, các doanh nghiệp, kể cả doanh nghiệp vừa và nhỏ.

Nội dung cuốn sách được sắp xếp một cách hệ thống gồm chín Chương, từ cơ bản đến nâng cao và chuyên sâu, bao quát các loại vật liệu kim loại, sứ gốm, và vật liệu polymer; các tính chất đặc trưng, đặc biệt là tính chất cơ học, các phương pháp cải thiện tính chất, và các hướng phát triển chính của vật liệu.

Hy vọng, bạn đọc dù ở bất cứ lĩnh vực nào, cũng đều có thể tìm được những điều bổ ích trong cuốn sách này.



# MỤC LỤC

## Chương 1

### CẤU TRÚC VÀ LIÊN KẾT NGUYÊN TỬ

Vật liệu cơ khí thông dụng . . . . .	7
Nguyên tử tự do . . . . .	7
Bốn số lượng tử đặc trưng cho điện tử trong nguyên tử tự do . . . . .	7
Bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học	8
Liên kết nguyên tử trong vật liệu . . . . .	11
Giới thiệu bốn loại liên kết chính . . . . .	11
Liên kết và các mức năng lượng . . . . .	12
Sắp xếp các nguyên tử trong không gian . . . . .	13
Khái niệm về tính trật tự . . . . .	13
Mạng tinh thể . . . . .	14
Phương và mặt tinh thể . . . . .	14
Các kiểu mạng thông dụng . . . . .	16
Kim loại tinh khiết . . . . .	16
Kim cương và graphite . . . . .	18
Sự phối trí trong các tinh thể liên kết ion . . . . .	19
Hợp chất kiểu AB . . . . .	20
Các hợp chất $AB_2$ và oxide silic . . . . .	20
Oxide nhôm . . . . .	21
Các oxide phức . . . . .	22
Các hợp chất silicate . . . . .	23
Thủy tinh vô cơ . . . . .	25
Cấu trúc lưới trong thủy tinh . . . . .	25
Phân loại các oxide thành phần . . . . .	26
Cấu trúc của polymer . . . . .	27
Chất dẻo nhiệt dẻo . . . . .	27
Vật liệu đàn hồi elastomer . . . . .	30
Chất dẻo nhiệt rắn . . . . .	31
Tính tinh thể trong các polymer . . . . .	32

## Chương 2

### CÁC KHUYẾT TẬT TRONG VẬT LIỆU TINH THỂ

Các loại khuyết tật trong tinh thể . . . . .	35
Sai lệch điểm . . . . .	35
Sai lệch điểm trong kim loại . . . . .	35
Sai lệch điểm trong tinh thể phi kim loại . . . . .	37
Nồng độ sai lệch điểm và quá trình ủ	38

Sai lệch đường . . . . .	39
Khái niệm về lệch . . . . .	39
Lệch biên và lệch xoắn . . . . .	40
Vector Burgers . . . . .	40
Cơ chế trượt và leo . . . . .	41
Năng lượng biến dạng liên quan đến các lệch . . . . .	43
Lệch trong cấu trúc tinh thể ion . . . . .	45
Sai lệch mặt . . . . .	45
Biên giới hạt . . . . .	45
Biên giới song tinh . . . . .	46
Các lệch mở rộng và sai lệch xếp trong tinh thể xếp chặt . . . . .	47
Sai lệch khối . . . . .	51
Sự tạo thành hốc nhỏ và quá trình ủ	51
Bức xạ và hốc nhỏ . . . . .	51
Sự tạo hốc nhỏ và phá hủy . . . . .	52
Các khuyết tật trong một số vật liệu thực tế	52
Sơ đồ vector lệch và tứ diện Thompson . . . . .	52
Lệch và sai lệch xếp trong kiểu mạng fcc . . . . .	53
Lệch và sai lệch xếp trong kiểu mạng cph . . . . .	55
Lệch và sai lệch xếp trong kiểu mạng bcc . . . . .	57
Lệch và sai lệch xếp trong cấu trúc trật tự . . . . .	58
Lệch và sai lệch xếp trong vật liệu gồm . . . . .	59
Sai lệch trong vật liệu polymer tinh thể . . . . .	60
Các sai lệch trong cấu trúc thủy tinh	60
Tính ổn định của các sai lệch . . . . .	61
Vòng lệch . . . . .	61
Hốc nhỏ . . . . .	62

## Chương 3

### CẤU TRÚC PHA VÀ GIẢN ĐỒ TRẠNG THÁI

Sự kết tinh từ trạng thái lỏng . . . . .	63
Sự kết tinh của kim loại tinh khiết . . . . .	63
Mặt phẳng trước và sự kết tinh nhánh cây ở bề mặt làm nguội . . . . .	64



Cấu trúc của thỏi đúc . . . . .	65
Rỗ khí và tích tụ tạp chất . . . . .	65
Kết tinh định hướng . . . . .	66
<b>Nguyên lý và ứng dụng giản đồ pha . . . . .</b>	<b>68</b>
Khái niệm về pha . . . . .	68
Luật pha, định luật Gibbs . . . . .	68
Tình ổn định của các pha . . . . .	69
Cân bằng hai pha . . . . .	71
Cân bằng ba pha và các phản ứng . . . . .	75
Các pha trung gian . . . . .	78
Các hạn chế của giản đồ pha . . . . .	78
Giới thiệu một số giản đồ pha hai cấu tử . . . . .	78
Giới thiệu giản đồ pha ba cấu tử . . . . .	81
<b>Nguyên lý hợp kim hóa . . . . .</b>	<b>85</b>
Dung dịch rắn thay thế . . . . .	85
Dung dịch rắn xen kẽ . . . . .	87
Các pha trung gian . . . . .	87
Chuyển biến trật tự - không trật tự . . . . .	90
<b>Cơ chế chuyển biến pha . . . . .</b>	<b>91</b>
Động học của chuyển biến . . . . .	91
Tạo mầm đồng pha . . . . .	92

#### Chương 4

### CÁC TÍNH CHẤT VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU

Mật độ . . . . .	95
Tính chất nhiệt . . . . .	96
Sự giãn nở nhiệt . . . . .	96
Nhiệt dung riêng . . . . .	96
Đường cong nhiệt dung riêng và các chuyển biến pha . . . . .	97
Năng lượng tự do của chuyển biến pha . . . . .	98
Sự khuếch tán . . . . .	98
Các định luật khuếch tán . . . . .	98
Cơ chế khuếch tán . . . . .	100
Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình khuếch tán . . . . .	101
Tính phi đàn hồi và nội ma sát . . . . .	102
Sự trật tự hóa trong hợp kim . . . . .	103
Trật tự gần và trật tự xa . . . . .	103
Ảnh hưởng của sự trật tự đối với các tính chất . . . . .	104
<b>Các tính chất điện . . . . .</b>	<b>105</b>
Tính dẫn điện . . . . .	105
Tính bán dẫn . . . . .	108
Tính siêu dẫn . . . . .	109
Chất siêu dẫn oxide . . . . .	111

<b>Các tính chất từ . . . . .</b>	<b>112</b>
Độ từ cảm . . . . .	112
Tính thuận từ và tính nghịch từ (diamagnetizm) . . . . .	112
Tính sắt từ . . . . .	113
Các hợp kim từ tính . . . . .	114
Phản sắt từ và ferri từ . . . . .	116
<b>Vật liệu điện môi . . . . .</b>	<b>116</b>
Sự phân cực . . . . .	116
Tụ điện và chất cách điện . . . . .	117
Vật liệu áp điện . . . . .	117
Vật liệu hỏa điện và vật liệu sắt điện . . . . .	117
<b>Các tính chất quang học . . . . .</b>	<b>118</b>
Các hiệu ứng phản xạ, hấp thụ và truyền dẫn quang . . . . .	118
Sợi quang . . . . .	119
Laser . . . . .	119
“Cửa sổ” gốm . . . . .	120
Gốm quang điện . . . . .	120

#### Chương 5

### TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU

<b>Giới thiệu một số phương pháp kiểm tra cơ tính thông dụng . . . . .</b>	<b>121</b>
Thử kéo . . . . .	121
Đo độ cứng . . . . .	122
Đo độ dai va đập . . . . .	123
Kiểm tra độ dẻo . . . . .	123
Kiểm tra độ bền mỏi . . . . .	123
Kiểm tra cơ tính vật liệu gốm . . . . .	124
<b>Biến dạng đàn hồi . . . . .</b>	<b>124</b>
Biến dạng đàn hồi của kim loại . . . . .	124
Biến dạng đàn hồi trong vật liệu gốm . . . . .	126
<b>Biến dạng dẻo . . . . .</b>	<b>126</b>
Trượt và song tinh . . . . .	126
Ứng suất tiếp tác dụng lên hệ trượt Quan hệ giữa trượt và cấu trúc tinh thể . . . . .	127
Định luật ứng suất tiếp tới hạn . . . . .	128
Đa trượt . . . . .	128
Quan hệ giữa trượt và hóa bền biến dạng . . . . .	129
<b>Lệch trong quá trình biến dạng dẻo . . . . .</b>	<b>130</b>
Tính linh động của lệch . . . . .	130
Quan hệ giữa giới hạn chảy với nhiệt độ và tốc độ biến dạng . . . . .	131
Sự vận hành của nguồn lệch . . . . .	132



Sự chảy dẻo không liên tục . . . . .	133
Giới hạn chảy và cấu trúc tinh thể	135
Chảy dẻo không liên tục trong dung dịch rắn trật tự . . . . .	136
Tương tác nguyên tử hòa tan - lệch	137
Sự khóa lệch và nhiệt độ . . . . .	138
Tương tác không thuận nhất . . . . .	139
Động học trong quá trình hóa già biến dạng . . . . .	139
Ảnh hưởng của biên giới hạt đối với tính dẻo . . . . .	140
Tính siêu dẻo . . . . .	142
<b>Song tinh cơ học . . . . .</b>	<b>143</b>
Tinh thể học trong song tinh . . . . .	143
Sự hình thành và phát triển song tinh . . . . .	143
Ảnh hưởng của tạp chất đối với song tinh . . . . .	145
Ảnh hưởng của biến dạng trước đối với song tinh . . . . .	145
Cơ chế lệch của song tinh . . . . .	145
Song tinh và sự phá hủy . . . . .	146
<b>Cơ chế hóa bền và biến cứng . . . . .</b>	<b>146</b>
Biến cứng do sai lệch điểm . . . . .	146
Hóa bền biến dạng . . . . .	147
Sự phát triển định hướng thuận lợi	153
<b>Tính dẻo vĩ mô . . . . .</b>	<b>155</b>
Các tiêu chuẩn Tresca và von Mises	155
Ứng suất hiệu dụng và biến dạng	156
<b>Ủ . . . . .</b>	<b>157</b>
Tác dụng tổng quát của quá trình ủ	157
Sự hồi phục . . . . .	157
Quá trình kết tinh lại . . . . .	158
Sự lớn lên của hạt tinh thể . . . . .	161
Song tinh ủ . . . . .	163
Vân cấu trúc kết tinh lại . . . . .	163
<b>Dão kim loại . . . . .</b>	<b>164</b>
Dão chuyển tiếp và dẻo trạng thái ổn định . . . . .	164
Biên giới hạt và dẻo . . . . .	166
Dẻo giai đoạn III và phá hủy . . . . .	167
Thiết kế hợp kim chống dẻo . . . . .	168
<b>Giản đồ cơ chế biến dạng . . . . .</b>	<b>170</b>
<b>Môi trong vật liệu kim loại . . . . .</b>	<b>170</b>
Bản chất của phá hủy môi . . . . .	170
Các vấn đề kỹ thuật trong phá hủy môi . . . . .	170
Thay đổi cấu trúc trong quá trình môi . . . . .	172

Sự hình thành vết nứt và phá hủy môi . . . . .	174
Phá hủy môi ở nhiệt độ cao . . . . .	176

## Chương 6 ĐỘ BỀN VÀ CƠ CHẾ PHÁ HỦY

<b>Hóa bền các hợp kim không chứa sắt</b>	
bằng nhiệt luyện . . . . .	177
Hóa bền tiết pha trong hợp kim Al-Cu . . . . .	177
Hóa bền tiết pha trong hệ hợp kim Al-Ag . . . . .	180
Cơ chế hóa bền tiết pha . . . . .	181
Nút trống và sự tiết pha . . . . .	184
Hóa già kép . . . . .	186
Sự lớn lên của các hạt pha thứ hai .	187
Sự phân hủy spinodal . . . . .	188
<b>Hóa bền thép bằng nhiệt luyện . . . . .</b>	<b>189</b>
Giản đồ chuyển biến-thời gian-nhiệt độ . . . . .	189
Chuyển biến austenite-pearlite . . . . .	190
Chuyển biến austenite-martensite . . . . .	192
Chuyển biến austenite-bainite . . . . .	195
Ram martensite . . . . .	196
Cơ nhiệt luyện . . . . .	197
<b>Phá hủy và độ dai . . . . .</b>	<b>198</b>
Tiêu chuẩn vết nứt tế vi Griffith . . . . .	198
Độ dai phá hủy . . . . .	199
Phá hủy dòn và chuyển tiếp dòn-dẻo	201
Các yếu tố ảnh hưởng đến tính dòn của thép . . . . .	202
Sự hóa dòn do hydro trong thép . . . . .	203
Phá hủy giữa các hạt tinh thể . . . . .	204
Phá hủy dẻo . . . . .	204
Phá hủy đứt . . . . .	205
Sự hình thành hốc nhỏ và phá hủy ở nhiệt độ cao . . . . .	206
Bản đồ cơ chế phá hủy . . . . .	207
Vết nứt phát triển trong các điều kiện môi . . . . .	207

## Chương 7 VẬT LIỆU KIM LOẠI

<b>Thép . . . . .</b>	<b>209</b>
Thép carbon . . . . .	209
Thép hợp kim . . . . .	209
Thép hóa già martensite . . . . .	210
Thép hợp kim thấp độ bền cao . . . . .	211
Thép pha kép . . . . .	211
Thép hợp kim hóa cơ học (MA) . . . . .	213



Gang graphite . . . . .	214
<b>Siêu hợp kim . . . . .</b>	<b>215</b>
Các tính năng hợp kim hóa cơ bản	215
Các siêu hợp kim Ni . . . . .	216
Siêu hợp kim hóa bền tiết pha . . . . .	217
<b>Hợp kim titan . . . . .</b>	<b>217</b>
Hợp kim hóa và các tính năng nhiệt luyện . . . . .	217
Hợp kim Ti thương mại . . . . .	219
Xử lý hợp kim Ti . . . . .	220
<b>Các hợp chất liên kim loại kết cấu . . . . .</b>	<b>220</b>
Tính chất chung của các hợp chất liên kim loại . . . . .	220
Các aluminides Ni . . . . .	221
Các aluminides Ti . . . . .	222
Các hợp chất liên kim loại khác . . . . .	223
<b>Hợp kim nhôm . . . . .</b>	<b>224</b>
Ký hiệu hợp kim nhôm . . . . .	224
Công dụng của hợp kim nhôm . . . . .	224
Hợp kim Al-Li . . . . .	225
Các phát triển công nghệ . . . . .	225

**Chương 8**  
**VẬT LIỆU GỐM VÀ THỦY TINH**

Phân loại vật liệu gốm . . . . .	227
Tính chất chung của vật liệu gốm . . . . .	227
Sản xuất bột gốm . . . . .	228
<b>Vật liệu gốm kỹ thuật thông dụng . . . . .</b>	<b>229</b>
Oxide nhôm, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	229
Từ nitride silic đến sialon . . . . .	231
Oxides zircon . . . . .	235

Gốm - thủy tinh . . . . .	236
Carbide silic SiC . . . . .	239
Carbon . . . . .	240
<b>Giới thiệu công nghệ thủy tinh . . . . .</b>	<b>247</b>
Biến dạng nhớt của thủy tinh . . . . .	247
Một số loại thủy tinh chuyên biệt . . . . .	248
Thủy tinh tăng độ dai và thủy tinh phân lớp . . . . .	248
<b>Quan hệ độ bền - thời gian của gốm và thủy tinh . . . . .</b>	<b>249</b>

**Chương 9**  
**CHẤT DẼO VÀ COMPOSITE**

<b>Vật liệu polymer . . . . .</b>	<b>251</b>
Ý nghĩa cơ học của nhiệt độ T <sub>g</sub> . . . . .	251
Vai trò của các chất phụ gia . . . . .	252
Công dụng của các chất dẻo phổ biến . . . . .	252
Quản lý chất dẻo phế thải . . . . .	253
<b>Chế tạo sản phẩm chất dẻo . . . . .</b>	<b>254</b>
Sự kéo nguội định hướng và đấm dãi rối . . . . .	254
Gia công tạo hình chất dẻo nhiệt dẻo . . . . .	255
Tạo hình chất dẻo nhiệt rắn . . . . .	256
Độ nhớt của trạng thái chảy dẻo . . . . .	257
Tính đàn hồi ở trạng thái chảy dẻo . . . . .	258
Các khuyết tật trong gia công chất dẻo . . . . .	259
<b>Vật liệu composite cốt sợi . . . . .</b>	<b>260</b>
Nguyên lý cấu trúc . . . . .	260
Các loại composite cốt sợi . . . . .	264