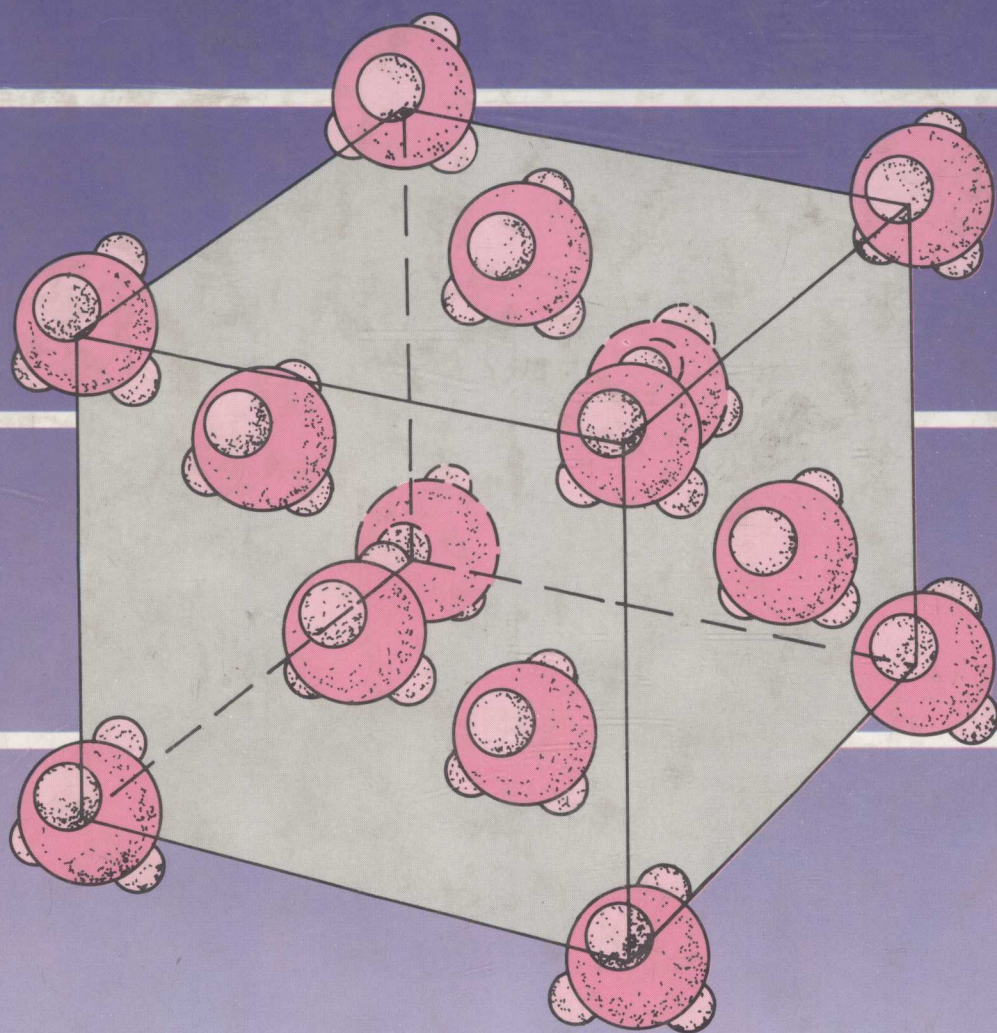


工程材料科學

劉國雄・林樹均・李勝隆
鄭晃忠・葉均蔚 編著

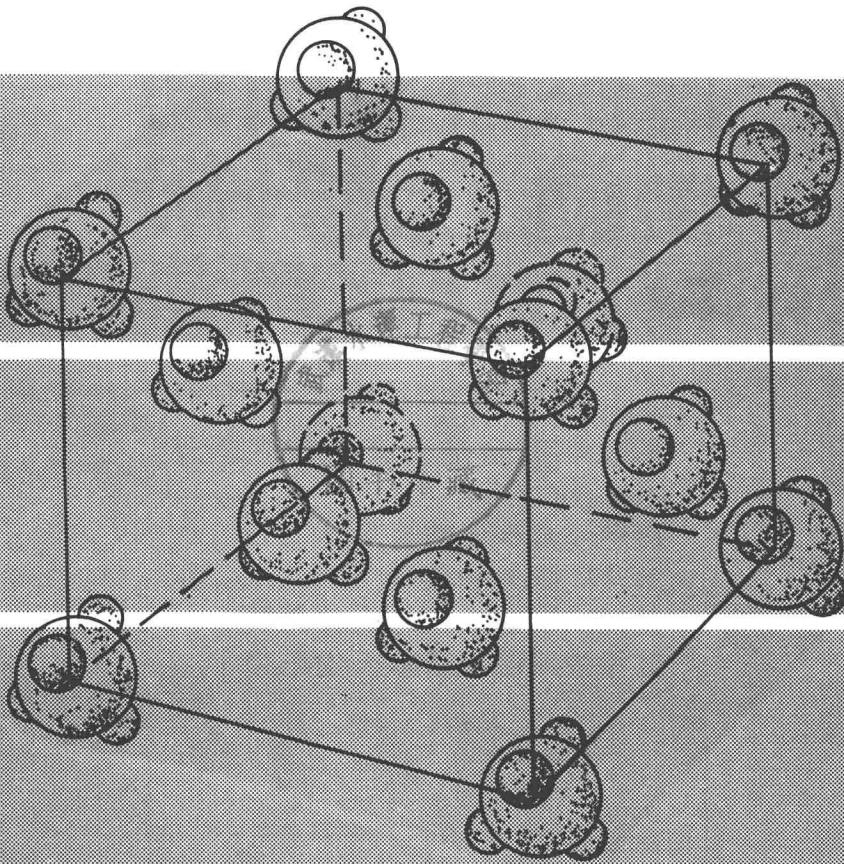


全華科技圖書股份有限公司 印行

大學用書

工程材料科學

劉國雄 · 林樹均 · 李勝隆
鄭晃忠 · 葉均蔚 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

工程材料科學 / 劉國雄等編著 . -- 初版 . --

臺北市：全華，民 80

面； 公分

含參考書目

ISBN 957-21-0128-5 (平裝)

1. 工程材料

440.3

80001746

法律顧問：蕭雄淋律師

工程材料科學

劉國雄 · 林樹均 · 李勝隆
鄭晃忠 · 葉均蔚 編著

定價 新台幣 **680** 元

初版 / 80年 6 月

圖書編號 **0112082A**

版權所有 · 翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836-1 號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號 ISBN 957-21-0128-5

序 言

日本東京大學故前任校長茅 誠司曾經說過，中國引進西方科技比日本早許多年，但是中國的科技為何一直比日本落後？最主要的原因是日本能夠將科技日文化，一旦有任何新的科技資料，立刻將其日文化，廣為流傳，使大眾能迅速吸收西方的科技知識；而中國卻沒有朝這方面努力。的確，科技知識不應祇在學院內流傳而已，唯有將科技中文化後，使一般大眾能很快吸收科技知識，提高大家這方面的水準，中國才能更快現代化。基於這個理念，我們很願意將材料學方面的知識以中文寫出，讓更多人瞭解材料知識，而能更正確的使用材料，把各種材料的優點完全發揮出來。工程材料科學是我們計畫中的第一本書，祇要具有大學甚至高中的物理、數學基礎，就能看懂大部份的內容。當然，大學部工學院及工專各科系學生及工廠的工程師們，對材料有興趣者，都值得研讀這一本材料的入門書。

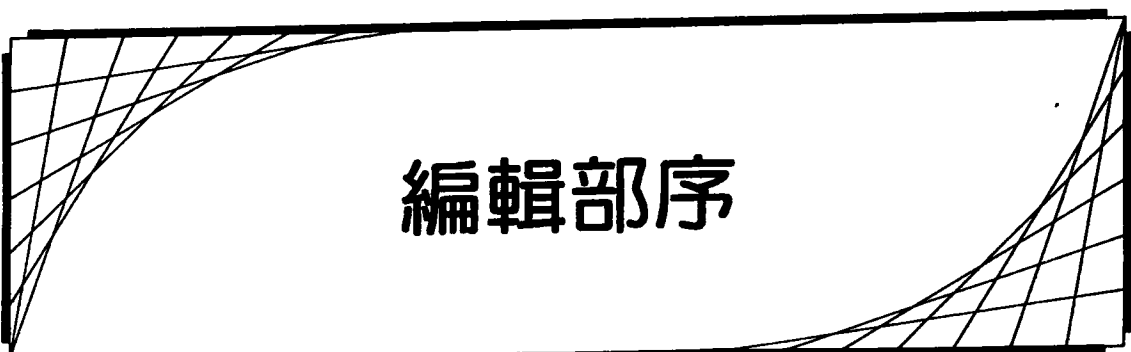
從我們日常生活所接觸的傢俱、房屋、橋樑、汽車，到精密的飛機、電腦、太空梭、人造衛星等等，無一不是由材料所構成。作為一個工程師，不可不對各種材料的性質加以瞭解，才能從眾多材料中選出適用者；但是，面對數以萬計的材料，我們不可能對每一種材料的性質都知道，所以必須從材料性質的原理來理解，此原理乃基於材料內部結構反應出什麼樣的外在性質。這就是工程材料科學的主要內容。

本書先將工程材料科學簡介後，將其分爲三篇。第一篇爲材料科學基礎，從機械性質、原子結構、晶體結構與缺陷談起，再述及相平衡圖與相變化，然後討論一些物理性質與強化方法；第二篇爲各種工程材料介紹，將金屬材料分爲鋼鐵與非鐵兩章，然後是陶瓷材料、聚合體（高分子材料）、複合材料，最後是半導體及磁性材料；第三篇是材料之使用與選擇，包括環境損傷、破壞分析與材料選用。本書主要目的是作爲材料科學的入門教科書，在撰寫上盡量避免太艱深的數學或理論，多用一些現象、數據加以比較、分析來闡述觀念及理論。有時候，爲了完整性會有一些較細節或較深入的內容，若是時間不許可，可以跳過去。

在編排方面，除了內容盡量充實外，也提供一些範例來補助說明，並在文末附上參考資料及習題，作爲進一步學習及檢查學習效果之用。

由於作者才學所限，本書一定會有疏漏之處，尚祈讀者諸君不吝指正。最後，感謝全華公司陳本源總經理對科技中文化的認同，才能使此書得以順利出版。

劉國雄	於	國立清華大學	材料科學工程研究所
林樹均	於	國立清華大學	材料科學工程研究所
葉均蔚	於	國立清華大學	材料科學工程研究所
李勝隆	於	國立中央大學	機械工程研究所
鄭晃忠	於	國立交通大學	電子工程研究所



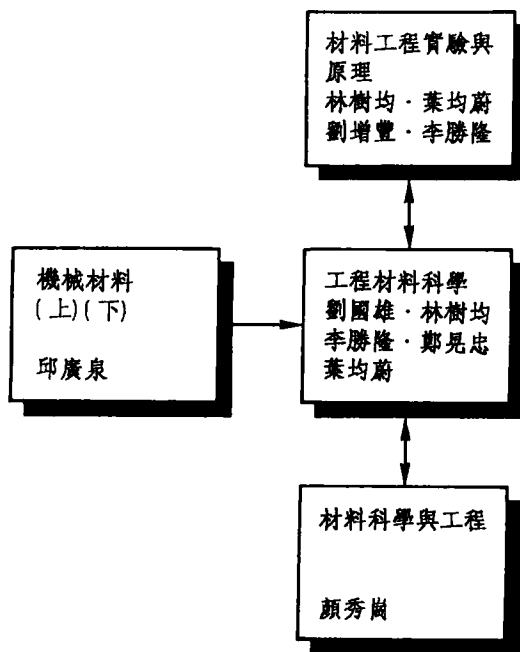
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書可說是集名家之大成，作者本身的學識、經驗、文筆皆堪稱一流；劉國雄教授係日本京都大學工學博士，而林樹均、李勝隆、鄭晃忠、葉均蔚四位教授則是清華大學材料博士，且五位教授都執教於國內知名學府，清大、交大和中央大學，終日沈浸在材料的領域中。今我們有幸邀集諸位教授將數年來的寶貴心得編纂成書，分享讀者，可說是字字珠璣、絕佳之作，不管是專科或大學，只要您想研讀材料課程，都可斟酌本身所需，決定主攻範圍，達到融會貫通的目的。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程圖



目 錄

第 1 章 簡介 劉國雄 1

1.1 材料的種類 3

1.1-1 金屬材料 3

1.1-2 陶瓷材料 4

1.1-3 聚合體 4

1.1-4 複合材料 5

1.1-5 半導體材料 5

1.2 工程材料科學 6

1.2-1 材料製程 6

1.2-2 材料結構 7

1.2-3 材料性質 7

1.2-4 工程材料科學 8

材料科學基礎

第 2 章 機械性質及測試 李勝隆 11

2.1 緒 論 12

2.1-1 機械性質試驗的目的 13

2.1-2 常用的機械性質測試法 13

2.2 拉伸試驗 14

2.2-1 工程應力 - 工程應變 ($s-e$ 曲線) 14

2.2-2 真應力 - 真應變曲線 ($\sigma-\epsilon$ 曲線) 21

2.2-3	應力 - 應變曲線的型態	28
2.2-4	溫度對拉伸試驗的影響	30
2.2-5	應變速率對拉伸試驗的影響	31
2.3	硬度試驗	35
2.3-1	勃氏硬度 (Brinell Hardness, BHN)	36
2.3-2	洛氏硬度 (Rockwell Hardness)	38
2.3-3	維氏硬度 (Vickers Hardness)	43
2.3-4	Knoop 微硬度試驗法 (Knoop Microhardness Test)	45
2.3-5	洛氏表面硬度試驗法 (Rockwell Superficial Hardness Test)	46
2.3-6	莫氏硬度試驗法 (Mohs Hardness Test)	47
2.3-7	硬度與強度之關係	48
2.3-8	各種硬度值之關係	49
2.4	衝擊試驗	50
2.4-1	衝擊試驗	51
2.4-2	溫度對衝擊值的影響	53
2.4-3	冶金因素對轉換溫度的影響	55
2.5	疲勞試驗	57
2.5-1	應力 - 週期曲線 (The S-N Curve)	59
2.5-2	疲勞機構	60
2.5-3	疲勞裂縫成長速率及疲勞壽命預估	63
2.5-4	影響疲勞壽命之因素	68
2.6	潛變試驗 (Creep Test)	71
2.6-1	潛變曲線	72
2.6-2	潛變數據的使用	74
2.6-3	應力破斷試驗 (The Stress-Rupture Test)	75

習 題	77
參考資料	78

第3章 原子結構與鍵結 鄭晃忠 79

3.1 原子結構	80
3.2 主鍵結 (Primary Bonding)	89
3.2-1 離子鍵 (Ionic Bonding)	90
3.2-2 配位數 (Coordination Number)	94
3.2-3 共價鍵 (Covalent Bonding)	97
3.2-4 金屬鍵 (Metallic Bonding)	102
3.3 次鍵結 (Secondary Bonding)	103
3.3-1 凡得瓦爾鍵 (Van der Waals Bonding)	103
3.3-2 氫鍵 (Hydrogen Bonding)	106
3.4 鍵結型式與材料分類	108
習 題	111
參考資料	112

第4章 晶體結構 鄭晃忠 113

4.1 結晶格子與晶胞	114
4.2 七大晶系	116
4.3 晶體幾何學	118
4.4 金屬晶體	126
4.4-1 體心立方晶 (bcc)	127
4.4-2 面心立方晶 (fcc)	128
4.4-3 六方最密晶 (hcp)	129
4.4-4 其它金屬晶體	131
4.5 陶瓷晶體	138
4.5-1 AX 結構	138

4.5-2	A_mX_n 結構	142
4.5-3	尖晶石結構	146
4.5-4	矽酸鹽結構	148
4.5-5	石墨與鑽石	150
4.6	分子晶體	152
4.6-1	小分子晶體	153
4.6-2	高分子晶體	155
4.7	半導體晶體	157
4.7-1	單元素半導體	158
4.7-2	雙元素半導體	158
4.8	結晶繞射分析	161
4.8-1	X光繞射	161
4.8-2	電子繞射	165
	習題	168
	參考資料	171

第5章 晶體缺陷 葉均蔚 173

5.1	點缺陷	174
5.1-1	空 缺	174
5.1-2	Schottky 缺陷與 Frenkel 缺陷	176
5.1-3	填隙型雜質原子 (Interstitial Impurity Atom)	177
5.1-4	置換型雜質原子 (Substitutional Impurity Atom)	178
5.2	線缺陷	179
5.2-1	線缺陷的種類	179
5.2-2	布格向量 (Burgers Vector)	181
5.2-3	差排與變形	181

5.2-4	晶體之理論強度與實際強度	183
5.2-5	滑動系統 (Slip System)	185
5.2-6	臨界分解剪應力 (Critical Resolved Shear Stress)	187
5.3	面缺陷	189
5.3-1	自由表面	189
5.3-2	晶 界	190
5.3-3	雙晶界 (Twin Boundary)	195
5.3-4	疊差 (Stacking Fault)	197
5.4	體缺陷	197
5.5	固體擴散 (Diffusion in Solids)	200
5.5-1	擴散機構 (Diffusion Mechanism) 與 活化能 (Activation Energy)	200
5.5-2	Fick 第一定律 (Fick's First Law)	204
5.5-3	Fick 第二定律	208
5.5-4	擴散路徑 (Diffusion Path)	212
	習 題	213
	參考資料	215

第6章 相平衡圖 李勝隆 217

6.1	緒 論	218
6.2	相 律	219
6.3	一元相平衡圖	223
6.4	固溶體及中間相 (Solid Solution And Intermediate Phase)	225
6.4-1	固溶體與中間相	225
6.4-2	固溶體與 Hume-Rothery 法則	227
6.5	二元相圖	230

6.5-1	二元相平衡圖之製作	231
6.5-2	同型合金系 (Isomorphous Alloy System)	233
6.5-3	槓桿法則	238
6.5-4	偏晶反應	241
6.5-5	共晶系 (Eutectic Systems)	248
6.5-6	共晶系的平衡微觀結構	250
6.5-7	包晶反應 (Peritectic Reaction)	254
6.5-8	液相完全不互溶 (或部份互溶) , 固相時完全不互溶之二元系	262
6.5-9	生成金屬間化合物與中間相之二元系	262
6.6	含固相合金變態之二元相圖	265
6.6-1	在同素變態點上下之溫度, 均能完全固溶之相圖	267
6.6-2	在同素變態點, 上方之溫度可完全固溶, 但在低溫方, 一部份可固溶或完全不固溶	270
6.6-3	在同素變態點之高溫或低溫方均完全不固溶	271
6.6-4	固態晶格同素變態變化曲線與固相線相交時	272
6.7	由相圖預測合金之特質	277
6.7-1	同型合金之性質	277
6.7-2	共晶型合金之特質	278
6.8	相圖熱力學	279
6.9	實用之二元合金相圖	283
6.9-1	鐵碳合金系	283
6.9-2	Al-Cu 合金	287

6.9-3 Ti-Al 合金	290
6.10 陶瓷材料與高分子材料之相圖	291
6.11 三元相圖	293
6.11-1 等溫截面圖	295
6.11-2 定成分截面圖	299
6.11-3 液相線投影圖	304
習題	305
參考資料	308

第7章 相變化 林樹均 311

7.1 氣相中形成液相	312
7.2 由液相中形成固相 - 凝固	318
7.2-1 凝固過程之自由能變化	318
7.2-2 凝固速率	320
7.2-3 凝固結構	327
7.2-4 鑄錠結構	335
7.2-5 鑄錠缺陷	337
7.3 鋼之相變化	340
7.3-1 波來鐵相變化	340
7.3-2 麻田鐵相變化	344
7.3-3 變韌鐵相變化	348
7.3-4 完整的TTT曲線圖	349
7.3-5 CCT曲線圖	354
7.3-6 鋼之硬化能	356
7.4 析出反應	362
7.4-1 析出處理	362
7.4-2 時效曲線	364
7.4-3 高強度低合金鋼	367

7.5 冷加工及退火	368
7.5-1 冷加工	368
7.5-2 回 復	372
7.5-3 再結晶	372
7.5-4 晶粒成長	376
7.6 非金屬的相變化	378
習 題	381
參考資料	383

第8章 材料之物理性質..... 鄭晃忠.....385

8.1 導電性質	386
8.1-1 電荷載子與導電性	386
8.1-2 能階與能帶	388
8.1-3 導電體與絕緣體	393
8.1-4 熱電偶	395
8.1-5 超導性	396
8.1-6 半導體	397
8.1-7 光導性及激光性	405
8.2 介電性質	406
8.2-1 電偶極與極化	406
8.2-2 介電強度	408
8.2-3 壓電性質	410
8.2-4 鐵電性質	412
8.3 磁性質	415
8.3-1 順磁與反磁	415
8.3-2 鐵磁性與亞鐵磁性	416
8.4 熱性質	418
8.5 光性質	422

習 題	427
參考資料	430

第9章 材料之強化 李勝隆 433

9.1 應變硬化機構	436
9.1-1 應變硬化機構	436
9.1-2 面心立方晶體結構之應力 - 應變曲線 (本節教師可視教學情形而取捨)	440
9.2 固溶強化	443
9.2-1 固溶強化對材料性質的影響	444
9.2-2 固溶強化機構	445
9.3 細晶強化	449
9.3-1 細晶強化機構	450
9.3-2 晶粒細化法	452
9.3-3 晶粒大小之測量	454
9.4 析出強化 (亦稱時效強化)	456
9.4-1 析出強化之要件	457
9.4-2 析出硬化熱處理的基本過程	457
9.4-3 鋁銅合金之析出強化機構	458
9.4-4 析出強化理論	462
9.4-5 散佈強化	468
9.5 鐵碳系之麻田散鐵強化	470
9.5-1 鋼之麻田散鐵變態	470
9.5-2 麻田散鐵強化機構	473
9.6 共晶強化	475
9.7 複合材料強化	479
9.7-1 複合材料之彈性模數	480
9.7-2 複合材料強化機構及理論	482

習 題	485
參考資料	486

各種工程材料

第10章 鋼鐵材料	劉國雄	487
-----------------	-----------	-----

10.1 鋼鐵材料的製造加工	488
10.1-1 煉鐵及煉鋼	489
10.1-2 鑄 造	493
10.1-3 變形加工	495
10.1-4 熱處理及表面處理	496
10.1-5 銲 接	499
10.2 鋼鐵中的合金元素	502
10.2-1 合金元素的影響	502
10.2-2 雜質元素的影響	505
10.3 鋼鐵材料規格	506
10.3-1 SAE及AISI 規格	506
10.3-2 JIS 規格	510
10.3-3 CNS 規格	515
10.4 碳 鋼	516
10.4-1 構造用碳鋼	518
10.4-2 鑄 鋼	520
10.4-3 易切鋼	520
10.5 低合金鋼	521
10.5-1 熱處理用低合金鋼	521
10.5-2 高強度低合金鋼	524
10.6 工具鋼	525
10.6-1 碳工具鋼	525
10.6-2 合金工具鋼	527
10.6-3 高速鋼	528