

材料科學與工程

上 冊

D. R. 阿斯基兰德 著
陈 皇 钧 译

曉 園 出 版 社
世界图书出版公司
北京·广州·上海·西安

材料科学与工程 上册

D.R. 阿斯基兰德 著

陈皇钧 译

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995 年 5 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1995 年 5 月第一次印刷 印张: 11.75

印数: 0001—750 字数: 3.4 万字

ISBN: 7-5062-1780-5/TF·1

定价: 16.40 元 (W_{9312/15})

世界图书出版公司北京公司向晓园出版社购得重印权

限国内发行

譯 序

材料在每一門現代工程設計中都是很重要的一環。然而，材料科學在國內受到重視却是近年來的事，且目前被政府列為重點科技之一。

材料科學這門課本身是包羅萬象，幾乎每個工程從業人員都會從某個角度去“touch”到它，但除非是出身材料科系或者真正有興趣的人，一般很少有從材料的最基本處——原子結構、排列，到材料的缺陷、強化機構、物理性質、以至各類工程材料——金屬、聚合體、陶屬、複合物及電子材料——的性質等，有通盤的瞭解。目前國內有關材料科學的譯者不多，希望本書的出版能對國內從事材料科學或工程人員、有興趣的學生有所助益。

Askeland的這本「材料科學與工程」以介紹通盤的材料知識為目標，而不偏重或深入任一門工程材料，是一本為初學者所寫的書。學習材料之首要在於瞭解結構——性質——製程三者間的關係，這也是本書所遵循的原則。本書言之有物、前後連貫，取材的資料新且豐富，是原作者苦心造就的一本好書。

本書於翻譯過程中，凡遇有難深難懂之處，皆再三推敲，務求切合原意。然譯者才疏學淺，誤謬之處必不可免，尚祈各位先進不吝指正。

譯者 陳 皇 鈞 謹識

一九八五年九月十五日

序

我們對材料結構與性質間的關係之知識提供了我們發展新材料的基礎。例如，材料的電子及原子結構已經是我們應用於無數小型電子元件的模型。經由巧妙地處理分子結構我們已製造出各式各樣的聚合物；經由控制顯微組織，我們已發展出許多新金屬合金和陶屬。並且我們已經在使用的各種奇特而巧妙的複合材料，它們具有特殊的性質。

對於工程材料，我們更運用如此科學化的知識來把材料成型為有用的成品。我們對材料所採用的製程技術，不但是由材料的結構和性質所決定，並且也會影響到材料的結構與性質。例如，在金屬的鑄造或變形製程中，我們可獲得有方向性的性質；而如此獲得的有方向性性質又會影響金屬接下去的製程和性質。所以，為瞭解與選擇工程應用的材料，我們必須將材料科學和製程技術聯結起來。

製造和使用期間所處的環境也會影響材料的特性。例如，鋁合金若是在空氣中熔解及注入，則在完成的鑄件內會產生氣孔。當暴露在高溫中時，高強度鋁合金可能會（急遽地）失去它們的性質。並且當聚合物暴露在輻射線下時，它們的性質可能會顯著地變化。

本書旨在陳述結構、性質與製程這三方面的關係。第一，本書可作為只有一門課是正式介紹材料而此後不再繼續這領域的工程科系學生採用的教科書。這類學生須對材料行為、可資利用的材料及材料的製造法有一些基本的認識，以使他們有能力選用材料。第二，本書可傳授材料科學，可資利用的材料類別，以及材料的應用與製造法給修習材料的工程科系學生。這類學生稍後將在更高等的課程

中繼續深入研究。

本書的第壹部份介紹原子結構與結晶結構，這些是瞭解材料的機械行為及物理行為的基礎。第貳部份旨在說明我們如何去控制金屬的結構與性質，其重點在於金屬的強化機構。這部份也經由考慮製程技術——固化、變形、熱處理及合金——來敘述結構與性質之關係。第叁部份旨在記述常見的合金、陶屬、聚合物及複合材料，並說明如何去控制它們的機械性質。對於每一類材料，我們先詳述結構與性質的關係，然後分別討論幾種典型的材料，其中包括它們的製程及應用。第肆部份旨在經由重新檢討電子結構與原子結構來陳述材料的物理性質。結構與製程的改變會影響材料在工程上的應用。最後的第伍部份旨在陳述材料在使用期間的行為模式，其重點在於腐蝕的防止與分析，以及破壞的模式。

為能研讀這本書，學生必須具備一些化學、物理與高等數學之背景，尤以大二以上程度為宜。教師可藉選擇論題的方式來加強金屬、機械行為、物理性質或材料科學通論。本書提供很多例題和練習題來幫助學生瞭解材料科學與工程的原理。

由於很多友人的協助，特別是Robert Wolf, Fred Kisslinger, Mike Norberg, Greg Lynch, 和Darren Wsshause. 本書才能順利完成，在此致上我的謝忱。我更要感謝我的太太Mary 和兒子Per。

目 錄

第一章 材料概論 1

- 1-1 緒 論 1
- 1-2 材料的種類 1
- 1-3 結構-性質-製程之關係 5
- 1-4 環境對材料行為之影響 11
- 1-5 強度-重量比 13

第二部 原子結構、排列與運動 17

第二章 原子結構 17

- 2-1 緒 論 19
- 2-2 原子的結構 19
- 2-3 原子的電子結構 20
- 2-4 週期表 27
- 2-5 原子的鍵結 32
- 2-6 束縛能與原子間距 38

第三章 原子排列 43

- 3-1 緒 論 43
- 3-2 短程有序排列與長程有序排列 43
- 3-3 單位晶胞 45
- 3-4 單位晶胞內的點、方向與面 52
- 3-5 同素異形變態 64
- 3-6 複雜的結晶結構 65

第四章 原子排列中的缺陷 79

- 4-1 緒 論 79
- 4-2 差 排 79

2 目 錄

- 4-3 差排的重要性 83
- 4-4 Schmid's 定律 84
- 4-5 結晶結構的影響 87
- 4-6 滑動過程的控制 90
- 4-7 差排的交互作用 90
- 4-8 點缺陷 91
- 4-9 表面缺陷 94

第五章 材料內的原子運動 105

- 5-1 緒 論 105
- 5-2 自我擴散 105
- 5-3 合金內部的擴散 106
- 5-4 擴散機構 107
- 5-5 擴散的活化能 108
- 5-6 擴散速率 (Fick's 第一定律) 109
- 5-7 成份剖面 (Fick's 第二定律) 116
- 5-8 交互擴散與 kirkendall 效應 118
- 5-9 擴散的種類 121
- 5-10 晶粒成長與擴散 123
- 5-11 擴散鍵結 125
- 5-12 燒結與粉末冶金 126
- 5-13 離子化合物內的擴散 128
- 5-14 聚合物內的擴散 128

第貳部 材料的顯微組織與機械性質之控制 135

第六章 機械試驗與機械性質 137

- 6-1 緒 論 137
 - 抗拉試驗 137
- 6-2 應力-應變曲線 137
- 6-3 彈性變形與塑性變形 141

6-4	降伏強度	141
6-5	抗拉強度	143
6-6	真應力-真應變	144
6-7	脆性行爲	147
6-8	彈性模數	147
6-9	延 性	149
6-10	溫度的影響	150
	衝擊試驗	151
6-11	衝擊試驗的本質	151
6-12	溫度對衝擊試驗的影響	152
6-13	缺口敏感度	154
6-14	衝擊能和真應力-真應變間的關係	154
6-15	衝擊性質的使用或注意事項	155
	疲勞試驗	155
6-16	疲勞試驗的本質	155
6-17	疲勞試驗的結果	156
6-18	影響疲勞性質的因素	158
	潛變試驗	158
6-19	潛變試驗的本質	158
6-20	潛變數據的使用	162
	硬度試驗	164
6-21	硬度試驗的本質	164

第七章 固化與晶粒尺寸強化 175

7-1	緒 論	175
7-2	成 核	175
7-3	成 長	181
7-4	固化時間	184
7-5	冷却曲線	187
7-6	鑄鐵或鑄鋁的組織	189
7-7	因固化而生之缺陷	191

4 目 錄

7-8 鑄件組織的控制 198

7-9 固化與金屬接合 201

第八章 固化與固溶強化 213

8-1 緒 論 213

8-2 相、固溶體及溶解度 213

8-3 金屬內無限固溶溶解度的條件 216

8-4 固溶強化 217

8-5 異質同晶型相圖 220

8-6 強度與相圖間的關係 227

8-7 固溶合金的固化 228

8-8 固溶合金的不平衡固化 229

8-9 偏 析 231

8-10 具有固化範圍的合金之鑄造 234

8-11 陶屬系統與聚合物系統 236

第九章 變形、應變硬化及退火 245

9-1 緒 論 245

冷 作 245

9-2 冷作與應力-應變曲線的關係 245

9-3 差排的繁殖 247

9-4 性質與冷作百分率的關係 248

9-5 冷作金屬的顯微組織 252

9-6 殘留應力 252

9-7 冷作的特性 257

退 火 259

9-8 退火的三個階段 259

9-9 退火的控制 262

9-10 退火組織 264

9-11 利用冷和退火的搭配來控制性質 264

9-12 冷作與高溫性質的關聯 265

熱 作 265

- 9-13 熱作的特性 266
- 9-14 熱作的變形過程 269
- 9-15 變形鍵結法 269
- 9-16 超塑性成型 273

第十章 固化與散佈強化 283

- 10-1 緒 論 283
- 10-2 散佈強化之原理 283
- 10-3 金屬間化合物 284
- 10-4 含三相反應的相圖 287
- 10-5 共晶相圖 290
- 10-6 共晶合金的強度 297
- 10-7 共晶系統中之不平衡固化 304
- 10-8 包晶反應 305
- 10-9 偏晶反應 306
- 10-10 三元相圖 307

第十一章 利用相變態與熱處理產生散佈強化 323

- 11-1 緒 論 323
- 11-2 固態反應中的成核與反應 323
- 11-3 利用超出溶解限使合金強化 324
- 11-4 時效硬化或析出硬化 329
- 11-5 時效溫度與時效時間的影響 331
- 11-6 時效硬化的要件 333
- 11-7 可時效硬化合金在高溫下的使用 334
- 11-8 淬火期間的殘留應力 336
- 11-9 共析反應 338
- 11-10 共析反應的控制 344
- 11-11 麻田散反應 350
- 11-12 麻田散的回火 354

目 錄

第叁部 工程材料 363

第十二章 非鐵類合金 365

- 12-1 緒 論 365
- 12-2 鋁合金 365
- 12-3 鎂合金 375
- 12-4 鈹 378
- 12-5 銅合金 379
- 12-6 鎳與鈷 388
- 12-7 鋅合金 392
- 12-8 鈦合金 393
- 12-9 鉛 400
- 12-10 耐熱金屬 396

第十三章 鐵類合金 409

- 13-1 緒 論 409
- 13-2 Fe-Fe₃C相圖的複習 409
- 13-3 鋼之命名與典型組織 411
- 13-4 簡單的熱處理 414
- 13-5 恆溫熱處理與散佈強化 417
- 13-6 淬火與回火熱處理 421
- 13-7 在鋼中加入合金元素的目的 427
- 13-8 合金元素對TTT圖及CCT圖之影響 428
- 13-9 硬化能曲線 433
- 13-10 工具鋼 437
- 13-11 特殊鋼 438

2 目 錄

- 13-12 表面處理 439
- 13-13 鋼的焊接性 442
- 13-14 不銹鋼 445
 - 鑄 鐵 453
- 13-15 鑄鐵的固化 453
- 13-16 鑄鐵內的基質組織 459
- 13-17 鑄鐵的特性與產品 461

第十四章 陶屬材料 481

- 14-1 緒 論 481
- 14-2 結晶質陶屬材料內的短程有序排列 481
- 14-3 結晶質陶屬材料內的長程有序排列 486
- 14-4 矽酸鹽結構 489
- 14-5 結晶質陶屬材料內的缺陷 492
- 14-6 非結晶質陶屬材料 497
- 14-7 變形與破壞 501
- 14-8 陶屬材料的相圖 503
- 14-9 陶屬的製程 511
- 14-10 陶屬的應用與性質 519

第十五章 聚合物 531

- 15-1 緒 論 531
- 15-2 聚合物的分類方式 531
- 15-3 聚合物結構的表示法 532
- 15-4 利用加成機構形成鏈 532
- 15-5 利用縮合機構形成鏈 541
- 15-6 聚合度 544
- 15-7 熱塑性聚合物的變形 547
- 15-8 溫度對熱塑性聚合物行為的影響 549
- 15-9 熱塑性聚合物的結構與性質之控制 555
- 15-10 彈性體（橡膠） 565
- 15-11 熱固性聚合物 570

15-12 聚合物的添加劑 577

15-13 聚合物的成型 578

第十六章 複合材料 589

16-1 緒 論 589

16-2 顆粒加強複合材料 590

16-3 散佈強化型複合材料 590

16-4 真顆粒型複合材料 593

16-5 顆粒型複合材料的應用 594

16-6 纖維加強複合材料 601

16-7 預測纖維加強複合材料的性質 602

16-8 纖維加強複合材料的特性 607

16-9 纖維與纖維加強複合材料的生產 612

16-10 纖維加強系統 615

16-11 層狀複合材料 619

16-12 層狀複合材料的實例與應用 621

16-13 層狀複合材料的製造 625

16-14 木 材 627

16-15 混凝土與瀝青混凝土 630

16-16 夾心結構 632

第肆部 工程材料之物理性質 639

第十七章 導電性 641

17-1 緒 論 641

17-2 歐姆定律與導電度之間的關係 641

17-3 能帶理論 644

17-4 鹼金族金屬的能帶結構 645

17-5 其他金屬的能帶結構 648

17-6 金屬導電性的控制 651

17-7 熱電偶 658

17-8 超導性 660

- 17-9 能隙、絕緣體與半導體 662
- 17-10 本質半導體 664
- 17-11 外稜半導體 667
- 17-12 半導體在電子裝置中的應用 673
- 17-13 半導體元件的製作技術 679
- 17-14 離子材料的導電度 680

第十八章 介電性質與磁性質 687

- 18-1 緒 論 687
- 18-2 偶 極 687
- 18-3 在一電場內的極化 688
- 18-4 介電性質與電容器 690
- 18-5 介電性質的控制 694
- 18-6 介電性質與電絕緣體 699
- 18-7 壓電性與電子變形 700
- 18-8 鐵電性 703
- 18-9 磁化與極化之對照 705
- 18-10 磁偶極與極矩 705
- 18-11 磁化、磁透率與磁場 707
- 18-12 磁偶極與磁場之間的交互作用 710
- 18-13 磁區結構 711
- 18-14 磁化-磁場曲線的應用 719
- 18-15 溫度的影響 717
- 18-16 磁性材料 718
- 18-17 渦電流損失 724

第十九章 光學、熱學與彈性性質 731

- 19-1 緒 論 731
 - 光學性質 731
- 19-2 連續輻射與特性輻射之發射 731
- 19-3 發射現象之實例 736
- 19-4 光子與材料的互相作用 742

熱學性質 751

19-5 熱 容 751

19-6 熱膨脹 756

19-7 導熱度 757

彈性行爲 761

19-8 彈性行爲 761

19-9 滯彈性與彈性行爲 765

第伍部 材料變質與破壞之防治 175

第二十章 腐蝕與磨耗 177

20-1 緒 論 777

20-2 化學腐蝕 777

20-3 電化電池 780

20-4 電化電池內的電極電位 783

20-5 電化電池內的腐蝕電流 786

20-6 極化的起源 794

20-7 電化腐蝕的型式 797

20-8 電化腐蝕之防治法 802

20-9 氧化與其他氣體反應 811

20-10 輻射損傷 815

20-11 腐損與沖蝕 816

第廿一章 破壞——起因、偵測及防治 825

21-1 緒 論 825

21-2 金屬破壞機構的判定 825

21-3 非金屬材料的破壞 835

21-4 金屬破壞的起因與防治 837

21-5 材料的潛在缺陷之偵測 841

21-6 破壞力學 857

附 錄 865

6 目 錄

奇數習題答案 869

索 引 873

第一章

材料概論

1-1 緒論

工程師們每日處理的事物都與材料有密切關係。我們製造材料並予以加工，設計且運用材料構築元件及結構體，選擇材料，分析材料失敗的原因，或僅是期望我們採用的材料能發揮適當的功能。

做為一名負責的工程師，我們對於自己設計或製造的產品之改進，有極大的興趣。電子工程師期待積體電路（integrated circuits）有適切的功能，在計算機內部的開關能迅速地反應，並且絕緣物即使在最不利的條件下也能承受極高的電壓。土木、結構和建築工程師希望能建造堅固、可靠、美觀的：並能耐侵蝕的建築物。石油和化學工程師要求鑽具或管道能克服磨損或腐蝕的環境。汽車工程師需要質輕但堅固且耐久的材料。太空工程師需要質輕且在高溫及外太空的高度真空之下能發揮功能的材料。冶金、陶屬（ceramic）和聚合物（polymer）工程師希望生產並製成更經濟而性質經過改良的材料。

本書旨在使學生能知道有那幾類材料可供選用，了解它們的一般行為及將來發展的能力，並認識環境及使用狀況對材料功能的影響。

1-2 材料的種類

我們將材料區分為四大類——金屬、陶屬、聚合物和複合材料（表1-1）。

金屬 金屬與合金，包括鋼、鋁、鎂、鋅、鑄鐵、鈦、銅、鎳及很多