

鋼-顯微組織與性質

陳皇鈞 編譯



全華科技圖書公司 印行

鋼-顯微組織與性質

陳皇鈞 編譯

江苏工业学院图书馆
藏书章



全華科技圖書公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

鋼-顯微組織與性質

陳皇鈞 編譯

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 / 5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 210 元

初版 / 75年 3 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0211073

Steels

Microstructure and Properties

R W K Honeycombe

Goldsmiths' Professor of Metallurgy
University of Cambridge



Edward Arnold

原 序

在這本書裡，我打算把決定鋼的顯微組織之原理，以及因之而來的機械性質做一個概括性介紹。此刻，我們的金相技術幾乎已發展到能鑑別原子的階段，故強調最細小尺度的組織是重要的一件事，尤其是因為機械性質對此層次的組織變化極為敏感。雖然本書的目的不在於介紹各種不同應用狀況時如何去選取鋼材，但我已設法把說明各類型的鋼如何符合實際要求之足夠資料包括在內。然而，我寫此書的主要動機在於探討分析如何利用 γ/α 相變態，以及解說各種非金屬與金屬類合金元素對此變態和其他現象的種種影響。

本書是應冶金學者、材料科學家及工程師之需要而寫成的，不僅能當做專科學校、大學部高年級課程的教科書，也可作為研究生的參考書。讀者欲研讀本書，最好能具備材料科學、金相學、結晶學及物理等方面的基本知識。

（原作者謝辭從略）

劍橋 1981

R W K Honeycombe

譯者序

隨著科技的進步，材料在工程上的重要性亦日益提高，為能充分利用材料的性能，以適應各種工程上的需要，工程師對於所採用的材料必須有深入的認識與研究。在衆多材料中，鋼鐵所佔的特殊地位是大家有目共觀的。這當中，除了因鋼鐵的產量多、價格低廉外，長久以來人們對鋼鐵的研究成果輝煌，使鋼鐵的品質提昇，也是很重要的因素。

凡用心想過的人，起碼都能體會到：一材料的性質必定是由它本身的顯微組織所決定。因此，材料科學的各分支皆在探討顯微組織與性質的關係，以及如何造出我們需要的顯微組織。

不過，有關鋼的顯微組織與性質間關係，一般散見於材料科學、金屬材料、物理冶金、熱處理及金屬凝固學等相關書籍中，專就鋼的情況做全盤介紹的書（或課程）難得一見，尤其是中文書籍。有鑒於此，譯者不揣簡陋，著手把 Honeycombe 的這本「鋼——顯微組織與性質」一書譯成中文，期以為國人所用。本書原著各章論列詳實，意義闡揚，堪稱名著，尤其原作者積畢生精力作研究，貢獻尤多，功不可沒，讀者當能從文中想見大師之風采。

承全華科技圖書公司鼎力協助，本書得以順利出版，於此致上萬分謝忱。本書編校雖力求完美，然譯者才疏學淺，誤謬之處仍不可免，尚祈各位學者專家不吝指正，是幸。

譯者 陳 皇 鈞 謹誌

中華民國七十五年一月一日 於台北

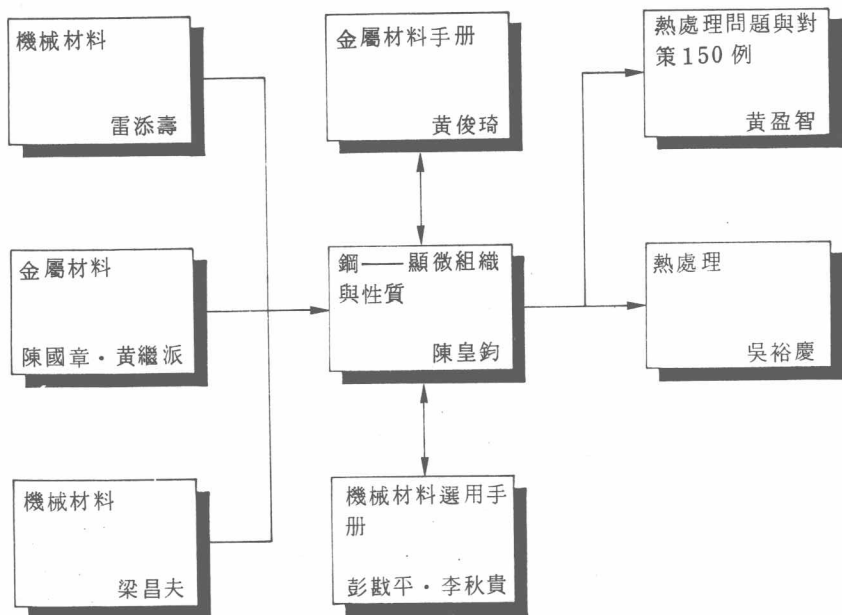
編輯部序

「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。

現在我們就將這本「鋼——顯微組織與性質」呈獻給您。鋼在工程上頗具重要性，然坊間對其敘述却相當缺乏，本書為英國劍橋大學著名的 Honeycombe 教授所寫，並經譯者憑藉多年從事材料試驗之經驗加以整理而成，全書旨在介紹鋼的顯微組織與原理，並說明如何利用這些原理使鋼具備所需的一般與特殊性質，凡稍具金屬材料基本知識即可閱讀，極適合做為大專材料科系學生與從業工程技術人員參考。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習機械方面叢書，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

1	鐵及其格隙固溶體	1
1.1	緒 論	2
1.2	相變態： α 鐵與 γ 鐵	2
1.3	溶入 α 鐵和 γ 鐵內的碳和氮	6
1.3-1	碳和氮在 α 鐵和 γ 鐵內的溶解度	6
1.3-2	鐵內部的溶質擴散	8
1.3-3	碳與氮自 α 鐵內析出	11
1.4	若干實用的觀點	13
2	鐵及其合金的強化	15
2.1	緒 論	16
2.2	加工硬化	16
2.3	利用格隙原子產生固溶強化	19
2.3-1	降伏點	19
2.3-2	格隙原子在降伏現象中所扮的角色	21
2.3-3	格隙原子濃度高時的強化	26
2.4	鐵的置換型固溶強度	27
2.5	晶粒尺寸	29
2.6	散佈強化	31
2.7	全面性看法	33

2.8	若干實用觀點	34
-----	--------	----

3

鐵-碳平衡相圖與普通碳鋼	37
--------------	----

3.1	鐵 - 碳平衡相圖	38
3.2	沃斯田鐵 - 肥粒鐵變態	41
3.3	沃斯田鐵 - 雪明碳鐵變態	46
3.4	γ/α 變態的歷程	46
3.4-1	肥粒鐵的成長歷程	48
3.5	沃斯田鐵 - 波來鐵反應	51
3.5-1	波來鐵的形態	52
3.5-2	波來鐵結晶學	57
3.5-3	波來鐵形成的歷程	58
3.5-4	速率控制過程	62
3.5-5	波來鐵的強度	64
3.6	肥粒鐵 - 波來鐵鋼	67

4

合金元素對鐵-碳合金的影響	73
---------------	----

4.1	γ 相與 α 相區域	74
4.2	鋼的合金元素之類別	78
4.3	合金元素對 γ/α 變態歷程的影響	82
4.3-1	合金元素對肥粒鐵反應的影響	83
4.3-2	合金元素對波來鐵反應的影響	84
4.4	添加合金元素所造成的組織變化	89
4.4-1	肥粒鐵 / 合金碳化物集塊	91
4.4-2	合金碳化物纖維和板條	94
4.4-3	相間析出	95

4.4-4 過飽和肥粒鐵內的成核	96
4.5 合金鋼的變態圖	97

5 麻田散鐵的形成 101

5.1 緒 論	102
5.2 共同特徵	102
5.3 麻田散鐵的結晶結構	105
5.4 麻田散變態的結晶學	108
5.5 麻田散鐵的形態學	114
5.6 麻田散變態的歷程	119
5.6-1 麻田散鐵的成核與成長	119
5.6-2 合金元素的影響	124
5.6-3 變形的影響	128
5.6-4 安定化	128
5.7 麻田散鐵的強度	129

6 變韌鐵反應 139

6.1 緒 論	140
6.2 上變韌鐵的形態與結晶 (溫度範圍: 550 ~ 400°C)	140
6.3 下變韌鐵的形態與結晶 (溫度範圍: 400 ~ 250°C)	143
6.4 變韌鐵形成的反應歷程	146
6.5 合金元素扮演的角色	150
6.6 變韌鐵鋼的應用	154

7

鋼的熱處理——硬化能

157

7.1 緒論	158
7.2 TTT圖與連續冷卻圖的應用	158
7.3 硬化能試驗	162
7.3-1 Grossman試驗	162
7.3-2 Jominy端淬火試驗	164
7.4 晶粒尺寸與化學成份對硬化能的影響	169
7.5 Jominy試驗與連續冷卻圖	171
7.6 硬化能與熱處理	173
7.7 淬火應力與淬火開裂	175
7.8 麻回火	177

8

麻田散鐵的回火

181

8.1 緒論	182
8.2 普通碳鋼的回火	182
8.2-1 回火——第一階段	183
8.2-2 回火——第二階段	185
8.2-3 回火——第三階段	185
8.2-4 回火——第四階段	188
8.2-5 含碳量扮演的角色	190
8.3 回火後普通碳鋼的機械性質	191
8.4 合金鋼的回火	192
8.4-1 合金元素對碳化鐵形成的影響	194
8.4-2 合金碳化物的形成——二次硬化	197
8.4-3 合金碳化物的成核與成長	200

8.4-4	釩鋼的回火	202
8.4-5	鉻鋼的回火	203
8.4-6	鉬鋼與鎢鋼的回火	205
8.4-7	複雜的合金鋼	207
8.4-8	回火後合金鋼的機械性質	208
8.5	麻時鋼	212

9

鋼的熱機處理

9.1	緒論	215
9.2	低合金鋼的控制軋延	216
9.2-1	概說	217
9.2-2	控制軋延期間中的晶粒尺寸控制	217
9.2-3	控制軋延期間中的散佈強化	218
9.2-4	微合金鋼的強度——整體觀點	224
9.3	雙相鋼	226
9.4	沃斯成型	228
9.4-1	概說	229
9.4-2	鋼的成份	229
9.4-3	製程變數	231
9.4-4	沃斯成型中的組織變化	231
9.4-5	強化機構	233
9.5	恒溫成型	234
9.6	高溫熱機處理	235
9.7	接受熱處理的工業用鋼	235

10

鋼的脆化與破壞

241

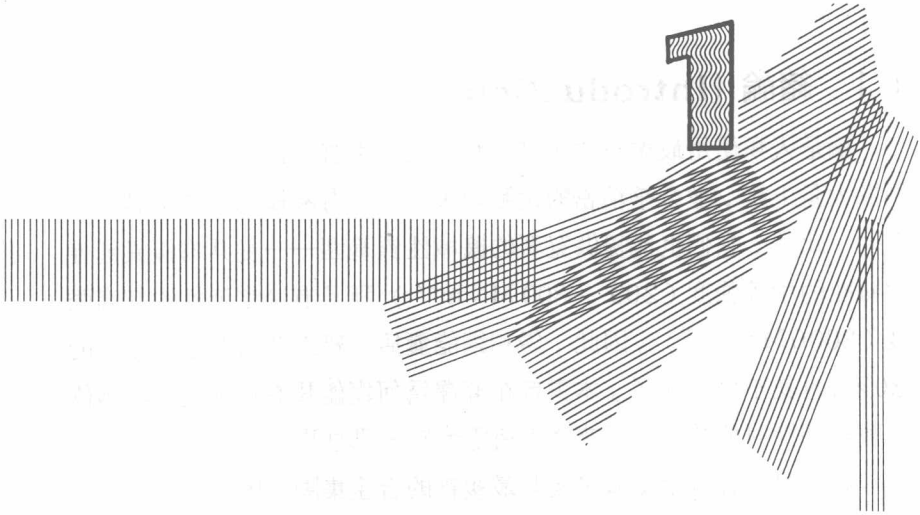
- 10.1 緒 論 242
- 10.2 鐵與鋼的劈裂破壞 242
- 10.3 影響劈裂破壞起始點的因素 245
- 10.4 延性／脆性轉移的準則 248
- 10.5 脆性破壞的實用觀點 252
- 10.6 延性破壞（纖維狀破壞） 255
 - 10.6-1 概 說 256
 - 10.6-2 雜質在延性中扮演的角色 259
 - 10.6-3 碳化物在延性中扮演的角色 261
- 10.7 粒間脆性 263
 - 10.7-1 回火脆性 264
 - 10.7-2 過度受熱與燃燒 269

11

沃斯田鐵鋼

273

- 11.1 緒 論 274
- 11.2 鐵 - 鉻 - 鎳系統 274
- 11.3 Cr-Ni 沃斯田鐵鋼中的碳化鉻 280
- 11.4 碳化鈮與碳化鈦的析出 284
- 11.5 沃斯田鐵鋼中的氮化物 287
- 11.6 金屬間化合物在沃斯田鐵內的析出 288
- 11.7 沃斯田鐵鋼的實用觀點 290
- 11.8 雙相不銹鋼與肥粒鐵系不銹鋼 294
- 11.9 準安定沃斯田鐵的變態 297



1

鐵及其格隙固溶體

1.1	緒 論	2
1.2	相變態： α 鐵與 γ 鐵	2
1.3	溶入 α 鐵和 γ 鐵內的碳和氮	6
1.4	若干實用的觀點	13

1.1 緒論 (Introduction)

鋼是人類使用最廣泛的金屬材料，而且事實上鋼能以相當便宜的價格大量生產，並合乎精密的規範要求，所以有關鋼的研究可謂極為重要。此外，它們也能提供寬廣的機械性質範圍——從具有優異延性與韌性的中等強度 ($200 \sim 300 \text{ MN m}^{-2}$) 到具有適當延性的超高強度 (2000 MN m^{-2})。因此，鐵和鋼能囊括一般工業用合金總重量的 80%，也就不足為怪了。本書旨在解釋為何鋼能具有此種超羣的地位，並詳細探討能被我們用來獲得所需性質的那些現象。

在常見的合金中，鋼可能是最複雜的合金集團。因此，在研究它們的順序安排上，以首先考慮純鐵的行為較為適當，然後再討論鐵—碳系統，最後才探討進一步添加合金元素時所引起的複雜現象。純鐵並非一種容易生產的材料。然而，最近工業界已有辦法製成總雜質含量不超過 60ppm (百萬分之一) 的高純度鐵，其中有 10ppm 為非金屬類雜質，例如，碳、氧、硫、磷等，另外的 50ppm 是金屬類雜質。具有此等純度的鐵強度相當低，在室溫中單晶的臨界分解剪應力 (critical resolved shear stress) 低至 10 MN m^{-2} ，而在相同的溫度中—多晶 (polycrystalline) 試片的降伏強度 (yield stress) 可能遠低於 150 MN m^{-2} 。在探討決定鋼之性質的各種複雜組織之前，我們先要討論能使鐵的強度提高到鋼的水準之若干機構。

1.2 相變態： α 鐵與 γ 鐵 (The phase transformation: α - and γ -iron)

純鐵能以兩種結晶形態存在自然界。其中之一是體心立方結構 (bcc) 的 α 鐵「即肥粒鐵 (ferrite)」， α 鐵的安定範圍是自低溫到 910°C (A_3 溫度)。超過 910°C 後它就變態為一面心立方結構 (

fcc) 的 γ 鐵 [即 **沃斯田鐵** (austenite)] , 直到 1390°C (A_4 溫度) γ 鐵都安定。溫度再昇高, γ 鐵又變回 bcc 結構, 但此時稱為 δ 鐵, 直到熔點 1536°C 為止, δ 鐵都安定。圖 1.1 說明了純鐵的相變化, 這是以溫度對鐵原子的平均體積之影響來表示。請注意, 由 γ 鐵變為 α 鐵時, 將產生接近 1% 的體積變化, 這種現象使得鐵的變態過程有一種內應力發展出來。

α 鐵與 γ 鐵晶體的單位晶胞之詳細幾何形狀與許多內、外在因素——例如非金屬元素 (例如碳或氮) 在這兩種相 (phases) 內的溶解度、鐵內的合金元素在高溫中的擴散係數 (diffusivity), 甚至晶體在塑性變形中的行為都有很密切的關係。與 fcc 結構的 γ 鐵比較之下, bcc 結構的 α 鐵堆積較為鬆散 (圖 1.2 (a), (b))。在 bcc 結構內最

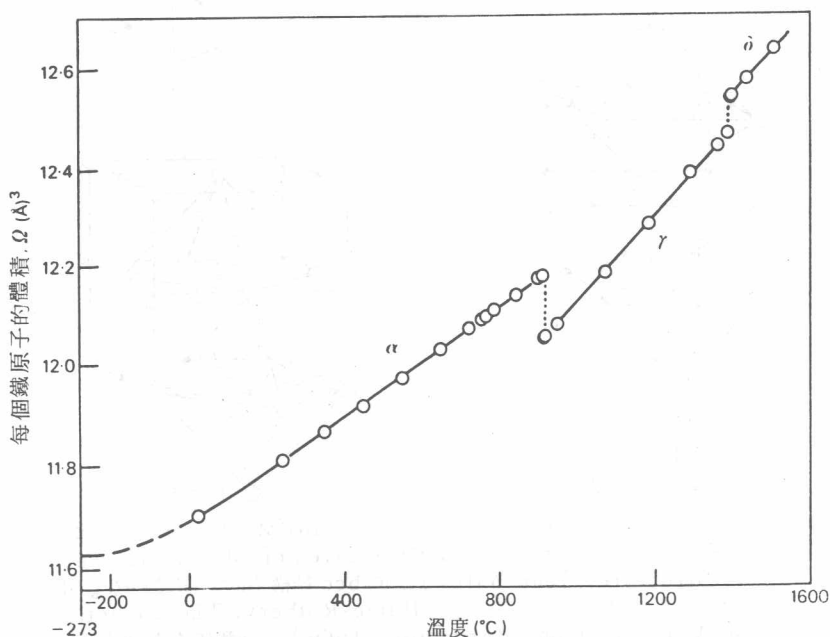


圖 1.1 鐵晶體中每個原子的平均體積與溫度間的關係 (摘自 Hume-Rothery, The Structure of Alloys of Iron, Pergamon, 1966)