



第四版

工程材料學

日本材料工學博士 楊榮顯 編著



工程材料學(精裝本)

楊榮顯 編著



工程材料學 / 楊榮顯編著. -- 四版. -- 新北市 :
全華圖書, 民 100.02
面 ; 公分

ISBN 978-957-21-7967-3 (精裝)

1. 工程材料

440.3

100001249

工程材料學(精裝本)

作者 / 楊榮顯

執行編輯 / 李俊輝

發行人 / 陳本源

出版者 / 全華圖書股份有限公司

郵政帳號 / 0100836-1 號

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

圖書編號 / 0330073

四版一刷 / 2011 年 2 月

定價 / 新台幣 600 元

ISBN / 978-957-21-7967-3 (精裝)

全華圖書 / www.chwa.com.tw

全華網路書店 Open Tech / www.opentech.com.tw

若您對書籍內容、排版印刷有任何問題，歡迎來信指導 book@chwa.com.tw

臺北總公司(北區營業處)

地址：23671 新北市土城區忠義路 21 號

電話：(02) 2262-5666

傳真：(02) 6637-3695、6637-3696

南區營業處

地址：80769 高雄市三民區應安街 12 號

電話：(07) 862-9123

傳真：(07) 862-5562

中區營業處

地址：40256 臺中市南區樹義一巷 26-1 號

電話：(04) 2261-8485

傳真：(04) 3600-9806

免費訂書專線 / 0800021551

有著作權·侵害必究

序言

本書內容主要是以大專機械、材料及相關工程科系為對象，而適合於做為「工程材料」、「機械材料」等課程之教材書。同時亦可提供從事於機械、材料、鑄造、熱處理等方面之研究及工程技術人員作為研讀之書籍。

工程材料目前在工業之各種不同領域上扮演著舉足輕重之關鍵性角色，舉凡航太、汽車、機械等業界無不投入龐大的人力與物力在新材料或材料機能改善之研究與發展上，以提昇其產品之各種性質與功能，方可在競爭激烈的世界性市場上保持領先的地位。所以研讀工程材料學最主要之目的是要瞭解各種工程材料之種類及其性質與特徵，以便擁有選擇最恰當的材料並使用於最適宜之處的能力！

本書首先介紹金屬材料學的基礎理論，如金屬的組織、結晶構造、平衡狀態圖及差排理論、強化機構等，以便使讀者能建立清晰而穩固的理論觀念。接著為金屬材料各論，包括鋼鐵之製造、組織與熱處理、碳鋼、合金鋼、鑄鐵等鋼鐵材料學，以及使用日愈廣泛的鎂合金、鋁合金及鈦合金等輕金屬材料。接著介紹在先端工業及民生工業上日漸普及而且重要性愈形顯著的陶瓷材料、聚合體及複合材料。

本書所用名詞，均以部頒「機械工程名詞」及「材料科學名詞」為準；部份習慣及特殊新名詞則採用通俗譯名，並附原文以茲對照。書中之單位亦儘可能採用全世界正在推行的國際單位(SI)，並於附錄中節錄有常用的硬度對照表及鋼鐵材料規格，以供參考使用。

本書中標示有“*”記號之章節，可視教學需求及進度僅作彈性介紹或參考。

在編纂本書時，參考了許多中外書籍及期刊，並引用了許多的圖表、照片等，僅在此向那些著作者致深忱的謝意。此外，在編纂期間亦由於獲得筆者之鑄造研究室多位同學的幫忙，方能順利完成，亦在此一併致上誠摯的謝意！

本書係於課餘編著而成，雖經細心再三校對，疏漏之處在所難免，敬祈各位讀者先進不吝指正，俾再版時得以修正，不勝感幸！

日本材料工學博士 楊榮顯 謹識

於逢甲大學機械材料實驗室

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。

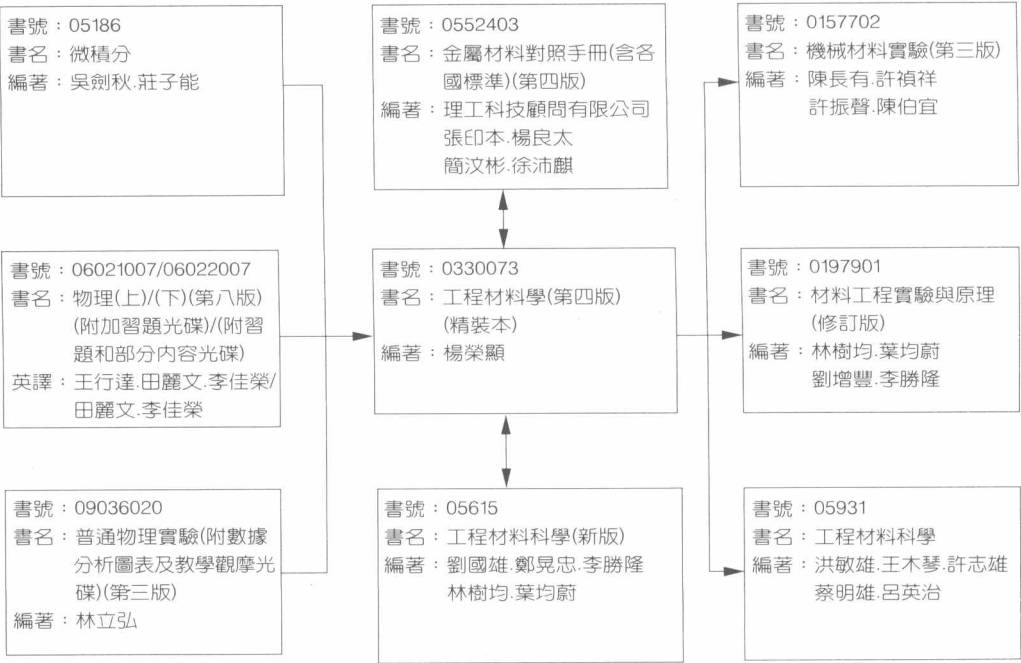
目前材料在工業之各種不同領域上扮演著舉足輕重的關鍵性角色，故本書分別將金屬材料學的基礎理論及使用日趨廣泛的鋁合金、鈦合金、陶瓷材料、聚合體及複合材料作一一的介紹，相信您研讀此書後，必可使您瞭解各種工程材料之種類及其特性與特徵。本書適合大專機械、材料及相關工程科系之「工程材料」、「機械材料」課程使用，亦可提供從事於機械、材料、鑄造、熱處理等方面之研究及業界工程技術人員作研讀之書籍。

同時，爲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，我們將竭誠爲您服務。

相關叢書介紹

書號：0552403 書名：金屬材料對照手冊(含各國標準) (第四版) 編著：理工科技顧問有限公司 張印本.楊良太.簡汶彬.徐沛麒 橫 16/1048 頁/900 元	書號：0081401 書名：粉末冶金概論 日譯：陳克紹 20K/208 頁/190 元	書號：05615 書名：工程材料科學(新版) 編著：劉國雄.鄭晃忠.李勝隆 林樹均.葉均蔚 16K/824 頁/750 元
書號：0268701 書名：物理冶金(第三版)(修訂版) 英譯：劉偉隆.林淳杰.曾春風.陳文照 16K/1048 頁/790 元	書號：0308701 書名：機械材料試驗(第二版) 編著：詹添印.廖德潭.周漢標 20K/344 頁/300 元	書號：05931 書名：工程材料科學 編著：洪敏雄.王木琴.許志雄 蔡明雄.呂英治.方冠榮 盧陽明 16K/544 頁/550 元
書號：0157702 書名：機械材料實驗(第三版) 編著：陳長有.許禎祥.許振聲.陳伯宜 16K/352 頁/320 元	書號：05867 書名：圖解高分子材料最前線 日譯：黃振球 20K/336 頁/380 元	◎上列書價若有變動，請以 最新定價為準。

流程圖



目錄

CONTENTS

第 1 章 金屬與合金概論	1-1
1.1 金屬及合金之定義	1-1
1.2 金屬及合金之通性	1-2
1.3 原子構造	1-2
1.4 原子結合方式	1-5
1.5 週期表	1-7
1.6 工業用金屬材料	1-8
習 題	1-9
 第 2 章 金屬的結晶構造	2-1
2.1 結晶的内部構造	2-1
2.2 結晶格子之形式	2-2
2.3 結晶中之面與方向	2-9
2.4 純金屬的構造	2-12
2.5 合金的構造	2-14
習 題	2-16
 第 3 章 相律與平衡狀態圖	3-1
3.1 相律	3-1
3.2 一成分系	3-2
3.3 二成分系	3-5
3.4 二成分系狀態圖之分類	3-6
習 題	3-24

第 4 章 金屬的塑性變形與差排 4-1

4.1	滑動方向與滑動平面	4-1
4.2	單晶之塑性變形—滑動	4-3
4.3	理論與實際分解剪應力之差異	4-6
※ 4.4	Orowan equation	4-9
※ 4.5	結晶構造與滑動系統	4-10
※ 4.6	多結晶與單晶之塑性變形比較	4-11
4.7	塑性變形的另一方式—雙晶	4-12
4.8	差排與金屬之塑性變形	4-14
4.9	差排之種類及其特性	4-16
※ 4.10	差排之產生	4-23
	習題	4-26

第 5 章 加工硬化、回復與再結晶 5-1

5.1	加工硬化	5-1
5.2	退火	5-3
5.3	回復	5-4
5.4	再結晶	5-4
5.5	晶粒成長	5-6
	習題	5-7

第 6 章 金屬的強化機構 6-1

6.1	固溶強化(Solid solution hardening)	6-2
6.2	加工強化(Work hardening)	6-3
6.3	析出強化和分散強化(Precipitation and dispersion hardening)	6-4
6.4	結晶粒微細化的強化(Grain size reduction hardening)	6-5
	習題	6-6

第 7 章	金屬材料之試驗	7-1
7.1	拉伸試驗	7-1
7.2	硬度試驗	7-6
7.3	衝擊試驗	7-11
7.4	疲勞試驗	7-14
7.5	扭轉試驗	7-16
7.6	潛變試驗	7-17
7.7	金相試驗	7-18
	習 題	7-21
 第 8 章	 鐵與鋼之製造法	 8-1
8.1	鋼鐵廠之概況	8-1
8.2	煉鋼原料及其他	8-3
8.3	生鐵之製造	8-5
8.4	煉鋼法	8-10
8.5	鋼錠	8-13
8.6	鋼錠之加工	8-15
	習 題	8-17
 第 9 章	 純鐵	 9-1
9.1	純鐵的種類	9-1
9.2	純鐵的變態	9-2
9.3	純鐵的性質	9-5
9.4	純鐵的用途	9-6
	習 題	9-6

第 10 章 鋼的變態與組織 10-1

10.1 鋼鐵材料之分類 10-1

10.2 Fe-C 系平衡狀態圖 10-2

10.3 碳鋼之變態與標準組織 10-4

10.4 碳鋼之冷卻速度與變態 10-9

10.5 碳鋼之恆溫變態 10-11

10.6 碳鋼之連續冷卻變態 10-14

10.7 碳鋼之麻田散鐵變態 10-16

習 題 10-18

第 11 章 鋼之熱處理 11-1

11.1 鋼之退火 11-1

11.2 鋼之正常化 11-4

11.3 鋼之淬火 11-5

 11.3.1 淬火硬度 11-6

 11.3.2 淬火液 11-6

 11.3.3 淬火方法 11-7

 11.3.4 質量效果 11-8

 11.3.5 硬化能 11-9

11.4 鋼之回火 11-11

 11.4.1 回火時之組織變化過程 11-12

 11.4.2 回火時機械性質之變化 11-14

 11.4.3 回火脆性 11-15

11.5 鋼之特殊熱處理 11-17

習 題 11-21

第 12 章 碳鋼 12-1

12.1 碳鋼的標準狀態之性質 12-1

12.2 碳鋼中之不純物對其性質之影響 12-3

12.3	碳鋼之降伏現象與應變時效	12-5
12.4	碳鋼之分類與用途	12-7
	習題	12-15

第 13 章 合金鋼 13-1

13.1	合金鋼的分類	13-1
13.2	合金鋼所添加之主要合金元素	13-2
13.3	合金元素對於鋼性質的影響	13-3
13.4	高強度低合金鋼	13-8
13.5	熱處理用中合金鋼	13-11
13.6	滲碳鋼	13-17
13.7	氮化鋼	13-19
13.8	易切鋼	13-21
13.9	彈簧鋼	13-23
13.10	軸承鋼	13-27
13.11	工具鋼	13-28
13.12	不銹鋼	13-54
13.13	耐熱鋼	13-75
13.14	超耐熱合金	13-85
	習題	13-96

第 14 章 鑄鐵 14-1

14.1	鑄鐵之概論	14-1
14.2	鑄鐵之分類	14-2
14.3	鑄鐵的組織	14-4
14.3.1	複平衡狀態圖	14-6
14.3.2	鑄鐵的組織圖	14-8
14.3.3	石墨的型態與分布	14-10

14.4	鑄鐵的鑄造性質	14-11
14.5	鑄鐵的機械性質	14-12
14.6	普通鑄鐵	14-16
14.7	高級鑄鐵	14-18
14.8	合金鑄鐵	14-19
14.9	冷硬鑄鐵	14-24
14.10	可鍛鑄鐵	14-25
14.11	球狀石墨鑄鐵	14-30
14.11.1	球狀石墨鑄鐵之製造	14-31
14.11.2	球狀石墨鑄鐵之組織	14-32
14.11.3	球狀石墨鑄鐵之規格、性質與用途	14-34
14.11.4	沃斯回火球狀石墨鑄鐵(ADI)	14-37
14.12	縮狀石墨鑄鐵	14-39
14.12.1	縮狀石墨鑄鐵之製造	14-40
14.12.2	縮狀石墨鑄鐵之規格與性質	14-40
14.12.3	縮狀石墨鑄鐵之應用	14-43
	習題	14-43

第 15 章 鋁及鋁合金.....15-1

15.1	純鋁	15-1
15.1.1	純鋁的煉製	15-1
15.1.2	純鋁的性質	15-4
15.1.3	純鋁的用途	15-5
15.2	鋁合金	15-6
15.2.1	鋁合金的特長	15-6
15.2.2	鋁合金的稱呼與熱處理記號	15-7
15.2.3	鋁合金的熱處理	15-10
15.3	鋁合金的分類	15-14
15.3.1	鑄造用鋁合金	15-14
15.3.2	加工用鋁合金	15-47
15.3.3	其他鋁合金	15-58

習 題.....	15-62
----------	-------

第 16 章 鎂與鎂合金..... 16-1

16.1 純鎂	16-1
16.1.1 純鎂的煉製	16-2
16.1.2 純鎂的性質	16-3
16.1.3 純鎂的規格與用途	16-6
16.2 鎂合金.....	16-9
16.3 鎂合金之規格.....	16-9
16.4 鎂合金的分類.....	16-10
16.4.1 加工用鎂合金.....	16-10
16.4.2 一般鑄造用鎂合金	16-14
16.4.3 壓鑄用鎂合金.....	16-24
16.5 鎂合金之成型方法	16-27
16.5.1 冷熱室壓鑄法及其比較.....	16-27
16.5.2 壓鑄機之說明.....	16-29
16.5.3 鎂壓鑄機熔解系統	16-30
16.5.4 半固態成型法.....	16-31
16.6 鎂合金之用途.....	16-34
16.6.1 鎂合金於 3C 產業之應用	16-35
16.6.2 鎂合金於汽車產業之應用	16-38
16.6.3 鎂合金於其他產業之應用	16-39
習 題.....	16-39

第 17 章 鈦與鈦合金..... 17-1

17.1 鈦的煉製	17-1
17.2 純鈦	17-3
17.3 鈦合金.....	17-5
17.4 鈦及鈦合金之應用	17-15
習 題.....	17-24

第 18 章 陶瓷..... 18-1

18.1 陶瓷之分類與性質 18-1

18.2 古典陶瓷 18-2

18.3 新陶瓷..... 18-7

※ 18.4 陶瓷的構造 18-13

18.5 陶瓷的性質 18-17

習 題..... 18-24

第 19 章 聚合體 19-1

19.1 聚合體之分子構造 19-1

19.2 聚合體之種類..... 19-7

19.2.1 塑膠(plastic)..... 19-8

19.2.2 彈膠(Elastomer)..... 19-8

19.3 聚合體之性質..... 19-9

習 題..... 19-10

第 20 章 複合材料 20-1

20.1 複合材料之歷史..... 20-1

20.2 複合材料之構成..... 20-2

20.3 複合材料之力學..... 20-3

20.4 複合材料之分類..... 20-3

20.5 金屬基複合材料(MMC)..... 20-4

20.6 高分子基複合材料(FRP) 20-6

20.7 陶瓷基複合材料(FRC)..... 20-8

習 題..... 20-8

參考文獻 參-1

附 錄

附錄 1 鋼之維氏硬度(H_v)與其他硬度之近似值對照表附-1

附錄 2 JIS 鋼鐵記號之規定附-4

附錄 3 JIS 鋼鐵記號之分類別一覽表(選粹).....附-7

附錄 4 JIS 機械構造用鋼記號體系附-10

附錄 5 常用世界各國規格之符號說明附-15

索 引..... 索-1



1

金屬與合金概論

現今之機械、汽機車、航太等基礎及先端工業之領域上，所使用之材料絕大部份是所謂的金屬材料(Metal material)，實際上就是金屬與合金之總稱。金屬材料由於擁有良好的強度、硬度、延性、耐久性、塑性變形能力等各種優良性質，因此用途非常廣泛。一般工業上所使用的金屬材料大都是合金，以純金屬狀態被使用之情形較少。

1.1

金屬及合金之定義

金屬(Metal)通常擁有下列特性：具有高導熱與導電度，不透明但拋光後具光澤，通常較重且易加工成形。在化學特性方面，能與氧結合而生成鹼性氧化物，並且會形成氯化物。

合金(Alloy)是指在一種金屬中加入一種或一種以上之金屬或非金屬後，所形成的具有金屬性質的物質。工業上之使用，合金遠較純金屬為多。**純金屬(Pure metal)**是指理論上擁有 100%純度之金屬元素，但實際上欲煉製出純粹的金屬元素事實上迄今仍是不可能的，通常所謂的純金屬也一定含有微量的第二種或以上之成分在內；以此意義來說，現今所使用的所有金屬將其稱之為合金亦不為過。在經由礦石冶煉過程中無法去除的微量成分，或者是在冶煉過程所混入的成分，稱之為**不純物或雜質(Impurity)**；然而若為了使其擁有某些特殊性質而特意添加的成分元素則將其稱之為**添加元素(Addition element)**，以示區別，因其意義完全不同。