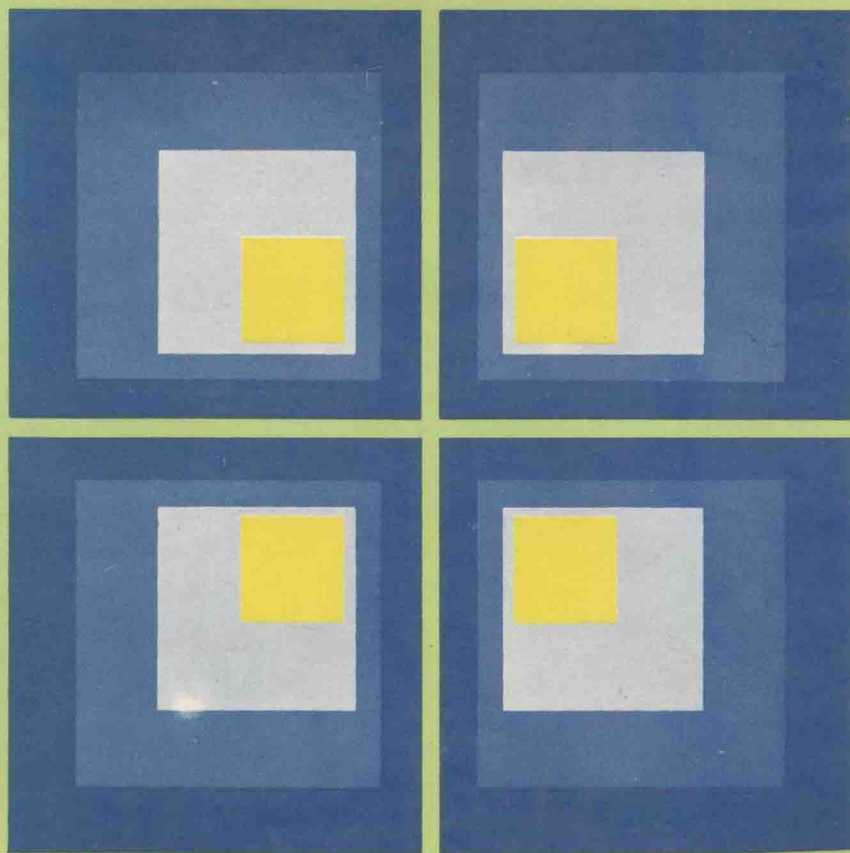


金屬材料

吳啓岳著

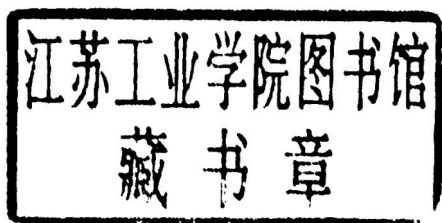


金 屬 材 料

吳 啓 岳 著

學歷：日本早稻田大學機械工學科畢業

現職：國立成功大學教授



三 民 書 局 印 行

行政院新聞局登記證版業字第二〇〇號

版權
所有
翻印
必究

中華民國六十五年十二月
初版
訂初版
三月

© 金屬材料

基本定價貳元叁角叁分

著者 吳 啓 岳
發行人 劉 振 強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵撥：〇〇〇九九八—五號

編輯大意

- 一、本書係遵照民國六十三年二月教育部修正頒行之高級工業職業學校機工科金屬材料課程標準編輯而成。
- 二、本書共十四章，全一冊，每週授課一小時，可供第一學年講授完畢。
- 三、本書之目標有三，即
 - ①使學生習知機械工業上常用金屬材料之性質及用途。
 - ②使學生習知常用金屬之冶煉法。
 - ③使學生習知鋼鐵及鋁之熱處理大要。
- 四、本書係參考最近中、日、英文各種名著及編者執教經驗所編輯而成。
- 五、本書所用之專門名詞，均以教育部公佈之機械工程名詞及材料科學名詞（七十年八月出版）為準。
- 六、本書每一專門名詞於初次出現時附以英文原文，篇末並附有中英名詞對照表，以便查閱。
- 七、本書習題以複習重要理論及實際應用為主。

八、原稿雖經數度校閱，但謬誤之處在所難免，深盼讀者諸君及各方先進隨時賜正，俾能於再版時予以修正，以期完善。

編著人 吳啓岳謹識

民國六十五年六月

於國立成功大學機械工程學系

金屬材料 目錄

第一章 緒 論

- 1-1 材料對工業發展之重要性..... /
- 1-2 使用材料應有之條件..... 2

第二章 金屬材料之性質

- 2-1 物理性質..... 5
- 2-2 機械性質..... / 2

第三章 生鐵之製造

- 3-1 原 料..... / 7
- 3-2 冶 煉..... / 8

第四章 鑄 鐵

- 4-1 一般鑄鐵..... 23
- 4-2 特殊鑄鐵..... 29
- 4-3 鑄件所含元素之影響..... 36

第五章 碳 鋼

- 5-1 煉鋼法..... 39

一 2 — 金 屬 材 料

5-2	種類、性質、用途·····	45
-----	---------------	----

第六章 合金鋼

6-1	合金鋼之特性·····	63
6-2	常用合金鋼之種類及用途·····	64

第七章 鋼鐵之編號

7-1	中國國家標準 (CNS) 編號·····	81
7-2	常用外國編號·····	84

第八章 鋼鐵之熱處理

8-1	變態圖·····	91
8-2	淬火與回火·····	108
8-3	退火與正常化·····	112

第九章 表面硬化

9-1	表層硬化·····	115
9-2	滲碳法·····	115
9-3	氮化法·····	119

第十章 銅及銅合金

10-1	銅之性質·····	123
10-2	黃 銅·····	125
10-3	青 銅·····	130

第十一章 鋁及鋁合金

11-1	鋁之性質	139
11-2	鋁合金	143
11-3	鋁合金之熱處理	161

第十二章 鉛、錫、鋅

12-1	鉛	165
12-2	錫	166
12-3	鋅	168

第十三章 壓鑄合金

13-1	鋁基合金	174
13-2	鋅基合金	174
13-3	銅基合金	175
13-4	錫基合金	176
13-5	鉛基合金	176
13-6	鎂基合金	176
13-7	銻基合金	177

第十四章 塑膠材料

14-1	性 質	179
14-2	熱塑性材料及熱硬性材料	180

中英名詞對照表

第一章 緒 論

1-1 材料對工業發展之重要性

人類對於器具之使用，由石器、銅器、木器、鐵器而至近代之合金與化學工業材料等，可說是一部人類文明之進化史。

近百年來，工業科學突飛猛進，工業發展與國勢強弱息息相關。所謂強國，莫不是指工業高度發展之國家，故欲國強民富，首須工業發達；欲工業發達，則須先建立基本工業；而基本工業中，又以材料工業最爲重要。故沒有材料就沒有工業，材料可謂工業之母，欲發展工業，就需有工業材料；例如建築、土木工業需要水泥、鋼筋、陶瓷、磚及木材等材料，化學工業需要石油、橡膠、塑膠等材料，而一般工業中之機器工業、電機工業、電子工業、造船工業、運輸工業等等，除了需要少數之非金屬材料外，其材料幾全爲金屬材料，而金屬材料又分爲以下兩大類：

(1) 鐵金屬材料：如鐵、鋼、鑄鐵、合金鋼等等。

(2) 非鐵金屬材料：主要有鋁、銅、鎳、鉛、錫、鋅及其合金等等。

目前之輕重工業，處處與金屬材料有密切關係。換言之，欲國家強盛，須發展工業；而欲發展工業，首須發展金屬材料工業。材料與工業，乃是相輔相成而並駕齊驅的。凡是從事機械工作者，不可不知材料之重要性。

本省在最近十年內，基本金屬材料之成長率約 13%，可謂相當快速，但與工業成長相比較，則仍嫌緩慢，也就是說，材料之供應，仍不能自給自足，而須自他國進口，如此不但金融外流，而且受制於人，嚴重影響工業之快速發展。政府有見及此，乃積極推廣十大建設，以交通運輸諸項促進社會繁榮與經濟富足及工業發展，在在需要金屬材料，故建立自給自足之基本金屬材料工業乃為吾國當務之急，而大煉鋼廠將佔極為重要之地位。

1-2 使用材料應有之條件

金屬材料工業所供應之材料，必須能符合使用者之需要，因此應具備下列之條件：

(1) 價格低廉

所用的金屬須要出產量多，精煉容易，而且價格低廉。如果價格昂貴，必將影響製品之成本，因而在國際商場上難與外貨競爭。

(2) 機械、物理及化學性質良好

當把金屬使用於工業上時最需注意者為其性質。例如強度、硬度、延展性、韌性、脆性、衝擊值、疲勞限或潛變限等是屬於機械性質，比重、比熱、熱膨脹係數、磁性、結晶、組織等是屬於物理性質，而對於各種酸類、鹼類之抵抗，腐蝕、防蝕等是屬於化學性質。

(3) 加工性佳

金屬之加工性可分為鑄造性、鍛造性、切削性及熱處理性等，這些性質對於製造一完整的製品是非常重要的。

(4) 品質必須符合國際標準

近年來，各方面對於材料性質之要求非常嚴格，就是對於材料之品質管制及生產管理等問題，極其重視。我國中央標準局，為了確保

各種用途的金屬材料之品質能符合國際標準，已訂定中國國家標準，此點對於製造業者及使用者都非常方便。

(5) 大量供應

金屬材料爲重工業的基本材料，所需數量甚大，在數量上須能充分供應。材料如須仰賴自他國進口，則將受制於人，而影響工業之順利發展。

習 題

1. 試述金屬材料對於工業發展之重要性。
2. 試述金屬材料應具備之條件。

第二章 金屬材料之性質

2-1 物理性質 (Physical Property)

(a) 密度、比重及比容

物體之密度 (density) 就是物體之單位容積的質量。通常以 g/cm^3 表示之。比重 (specific gravity) 是物體之重量與在 4°C 時，同體積的水之重量之比。又比容 (specific volume) 是比重的逆數。而對於比容與物質的分子量或原子量之積各稱為分子量容積 (molecular volume) 或原子量容積 (atomic volume)。金屬之比重不但依其種類而有差異，且依溫度、純度 (purity)、成分 (composition) 以及加工方法之不同，而各有差異。譬如鑄造的金屬因富於多孔質，故其比重較施以鍛造或軋延等加工的金屬為小。

通常比重之測定是利用阿基米得 (Archimedes) 的方法，即在空氣中之試件的重量為 $W\text{kg}$ ，在水中之重量為 $W'\text{kg}$ 時，比重 S 可以次式計算之。

$$S = \frac{W}{W - W'}$$

(b) 比熱 (specific heat)

對於 1 公克之物質的溫度提高 1°C 時所需要的熱量以卡路里 (calorie) 表示的數目稱為其物質之比熱。通常以 $\text{cal}/\text{g}/^\circ\text{C}$ 表示之。金屬之比熱是隨溫度之提高而增加的。

(c) 熔點與沸點 (melting point and boiling point)

隨著溫度之上升固體金屬開始變成液體時之溫度稱為熔點。相反地，使溶解金屬冷卻而開始變成固體時之溫度稱為凝固點。除汞（水銀）以外在常溫時金屬都是固體狀態。在日用金屬中熔點最高者為鎢而鉑次之。在貴重金屬中，白金（鉑）之熔點為最高而金、銀次之。在普通金屬中鐵、鎳之熔點為最高而銅、鋁次之。在常溫呈液體的汞，至 -38.87°C 時就開始凝固。

凡是熔點高的金屬其沸點也高。但由於氣壓的降低而會減低。純金屬之熔點與凝固點相同，然而合金之熔點與凝固點則不一致。就是開始熔化與完全熔化的溫度相差極大。在凝固時也是一樣，即合金之熔點為開始熔化之溫度，而凝固點為開始凝固之溫度。故合金之熔點較凝固點為低。

(d) 導熱性與導電率 (thermal and electric conductivity)

一般金屬對於熱及電的傳導性較大。此點可與非金屬區別。金屬的導電率會依金屬中之不純物而受阻害。又可依溫度的上升而減少。故金屬的導熱性需要以純金屬在常溫時加以試驗。通常導熱性以 $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{cm}/^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 表示之。

具有同一斷面積的直線狀導體之電阻 R 與其長度 L 成正比例，而與其斷面積 S 成反比例。即

$$R = \rho(L/S)$$

式中 ρ 稱為比電阻，並以 microhm-cm 表示之。導電率是比電阻的逆數。

導體的電阻是隨著溫度的上升而增加。即在 0°C 及 $t^{\circ}\text{C}$ 時之電阻各為 R_0 及 R_t 時

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

但式中之 α 及 β 為常數，在溫度範圍小時第三項（即 βt^2 ）可以忽

視。 α 稱為在某基準溫度時之某導體的電阻溫度係數 (temperature coefficient)，而通常以 0°C 或 20°C 當做基準溫度。下表為在 20°C 時，各種金屬之電阻溫度係數：

鎳	0.006(1/ $^{\circ}\text{C}$)
鐵	0.005(1/ $^{\circ}\text{C}$)
鎢	0.0045(1/ $^{\circ}\text{C}$)
一般金屬	0.003~0.004(1/ $^{\circ}\text{C}$)

(e) 磁性 (magnetic property)

磁石之所以會吸引鐵片，乃是因為磁石所產生的磁場可以使鐵片磁化變為小磁石，而相互吸引的緣故。Fe、Co、Ni 等具有此性質的金屬叫做強磁性體或鐵磁性體 (ferromagnetic material)；而 Al、Pt 等物質雖然它的極性和 Fe 等相同，但是因為它的磁化之強度很微弱，所以不被吸引，此物質叫做常磁性體或順磁性體 (paramagnetic material)。至於 Bi、Sb 等物質，雖然它的極性和 Fe 等相反，但是因為它的磁化之強度很微弱，所以不相斥，此物質叫做反磁性體或逆磁性體 (diamagnetic material)。

(f) 膨脹係數 (coefficient of expansion)

當溫度上升時金屬就開始膨脹，而其溫度與體積間有一種直線關係。今在 0°C 及 $t^{\circ}\text{C}$ 時之體積各為 V_0 及 V_t 時

$$V_t = V_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

但式中之 α 及 β 為常數，在溫度範圍小時 βt^2 可以忽視。因此，式中之 α 為溫度上昇 1°C 時之體積的增加度，即稱為體積的膨脹係數。若為長度之增加則稱為線膨脹係數 (coefficient of linear expansion)，但後者只是前者的三分之一而已。

通常熔點低的金屬其膨脹係數較大。普通金屬中以鋅為最大，而鉛、鎂、鋁、錫等次之。又鎢、鉬等為最小。通常膨脹係數是廣用於

金屬及合金之變態點測定。主要金屬元素及合金元素之物理性質如表 2-1 所示。

表 2-1 主要純金屬及合金元素之物理性質比較表

元 素	原子量	比 重 (20°C)	熔 點 °C	20°C時熱膨脹係數10 ⁻⁶ / °C	20°C時導熱 cal/cm ² / cm/°C/sec	電 阻 microhm-cm	抗係 拉數 彈 性 模 量 10 ¹⁰ Pois	結晶格子 (20°C)	沸 點 °C
鋁Al	26.97	2.699	660.2	(20°~100°C) 23.9	0.53	2.655(20°C)	10	面心立方	2,050
銻Sb	121.76	6.62	630.5	(20°~60°C) 85~10.8	0.045	39.0(0°C)	11.3	斜方六面體	1,440
鈹Be	9.02	1.82	12.80	(20°~200°C) 12.4	0.38	5.9(0°C)	37	六方密	2,770
鉍Bi	209.00	9.80	271.3	13.3	0.020	106.8(0°C)	4.6	斜方六面體	1,420
硼B	10.82	2.3	2,300	(20°~750°C) 8.3	—	1.8×10 ¹² (0°C)	—	正斜方	—
鎘Cd	112.41	8.65	320.9	29.8	0.22	6.83(0°C)	8	六方密	765
碳C (石墨)	12.01	2.22	3,700	(20°~100°C) 0.6~4.3	0.057	1,375(0°C)	0.7	六方	4,830
鉻Cr	52.01	7.19	1,890	6.2	0.16	13(28°C)	36	體心立方	2,500
鈷Co	58.94	8.9	1,495	12.3	0.165	6.24(20°C)	30	六方密	2,900
銅Cu	63.54	8.96	1,083	16.5	0.94	1,673(20°C)	16	面心立方	2,600
金Au	197.2	19.32	1,063	14.2	0.71	2.19(0°C)	12	面心立方	2,970
銲In	114.76	7.31	156.4	33	0.057	8.37(0°C)	—	面心立方	—
銱Ir	193.1	22.5	2,54	6.8	0.14	5.3(20°C)	75	面心立方	5,300
鐵Fe	5.585	7.87	1,539	11.7	.18	9.71(20°C)	28.5	體心立方	2,740
鉛Pb	207.21	11.34	327.4	(20°~100°C) 29.3	0.083	20.65(20°C)	2.6	面心立方	1,740
鋰Li	6.94	0.53	186	56	0.17	8.55(0°C)	—	體心立方	1,370
鎂Mg	24.32	1.74	650	(40°C) 26	0.38	4.46(20°C)	65	六方密	1,110
錳Mn	54.93	7.43	1,245	22	—	185(20°C)	23	立方(複)	2,150
汞Hg	200.61	13.55	38.87	—	0.0201	94.1(0°C)	—	斜方六面體	357
鉬Mo	95.95	10.2	2,625	(20°~100°C) 4.9	0.35	5.17(0°C)	50	體心立方	4,800
鎳Ni	58.69	8.90	1,455	(0~100°C) 13.3	0.22	6.84(20°C)	30	面心立方	2,730
磷P (黃)	30.98	1.82	44.1	125	—	10 ¹⁷ (11°C)	—	立方	280
鉑Pt	195.23	21.45	1,773.5	8.9	0.17	9.83(0°C)	21	面心立方	4,410

表 2-1 續

矽Si	28.06	2.33	1,430	2.8~7.3	0.20	10 ⁵ (0°C)	16 金鋼石	2,300
銀Ag	107.88	10.49	960.5	(0~100°C) 19.7	1.0(0°C)	1.59(20°C)	11 面心立方	2,210
硫S	32.066	2.07	119.0	64	6.31 + 10 ⁻⁴ × 2 × 10 ²³ (20°C)		一面心斜方	444.6
錫Sn	118.70	7.298	231.9	23	0.16	11.5(20°C)	6 體心正方	2,270
鈦Ti	47.9	4.54	1,670	8.5	—	80(0°C)	16.8 六方密	—
鎢W	183.92	19.3	3,410	4.3	0.48	5.5(20°C)	50 體心立方	5,930
鈮V	50.95	6.0	1,735	7.8	—	26(20°C)	一體心立方	3,400
鋅Zn	65.38	7.133	419.46	39.7	.27	5.916(20°C)	一六方密	906

(g) 結晶 (crystallization)

無論單體或化合物的物質都有排列成爲整齊狀態的趨勢。這種狀態稱爲結晶，是自然界一種很大的力量。同一物質之結晶型態大都相同或相似。但與其他物質結合時，則其結晶型態就有所不同。各結晶體是由小的結晶體結合而成的，而這小的結晶體是由更小的結晶體結合而成的，這種小的結晶體稱爲結晶粒，而結晶粒的粗細、形狀、方向及結合狀態稱爲組織 (structure)。即將熔解金屬冷卻達到凝固點 (solidifying point) 時，先由溶液中各處生出極微細的結晶核 (nucleus)，然後由這種結晶核爲中心逐漸進行凝固。這種情形恰如由樹幹生出樹枝，又由樹枝生出小枝，到最後終於完成其凝固。這種樹狀的骨格稱爲樹狀晶 (dendrite)，而由相鄰的樹狀晶互相成長發達的結果所生出的境界稱爲晶粒邊界或晶界 (grain boundary)。又由這種結晶粒界所包圍的多角形部分稱爲結晶粒。圖 2-1 是表示結晶核的產生以至網狀組織 (network) 的成長，依 a、b、c、d、e、f 的順序所表示的。

取一個結晶粒，用 X 光繞射法研究時，可知固態金屬結晶粒內之原子是依照一定的規則排列的。即原子之排列非常整齊且有規則，而