

大 學 用 書

# 工 程 材 料 學

(第一卷金屬材料及熱處理)

陸 志 鴻 編 著

正 申 書 局 印 行

大學用書

# 工程材料學

(第一卷金屬材料及熱處理)

編著者 陸志鴻

正中書局印行



版權所有

翻印必究

中華民國四十五年七月臺初版

中華民國六十五年九月臺十二版

大學用書 工程材料學 (第一卷金屬)  
材料及熱處理

全一冊 基本定價 四元六角

(外埠酌加運費滙費)

編著者 陸 志 鴻

發行人 黎 元 譽

印刷發行 正 中 書 局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

海外總經銷 集 成 圖 書 公 司

(香港九龍油麻地北海街七號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

東 海 書 店

(日本京都市左京區田中門前町九八番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(3903)榕  
(3000)

## 序 言

所謂工程材料(Engineering materials)者將原料加工，製成適當性狀之物，可供工業上各種構造物之製造時能直接使用之材料也。其種類頗多，可大別之為非金屬材料與金屬材料二大類。非金屬材料中又可分為無機與有機二類。金屬材料中又可分為鐵類與非鐵類二類。自材料之性能上言之，可分為構造物之基幹材料及輔屬材料二類。基幹材料即為構造物之主要材料。例如鋼鐵為機器、船艦、車輛、橋樑、鎗砲等構造物之主要材料。鋁合金為飛機、汽車等構造物之主要材料。混凝土、磚石及木材等為土木建築方面諸構造物之主要材料。所謂構造物如橋樑、房屋、船艦、鎗砲、飛機、汽車等等受外力之作用，所用材料必須擔負荷重。故基幹材料必須有適當之強度、延性、韌性、反硬度等機械性質。然僅有基幹材料則構造物之效用與保護尚未能完全發揮。故須有輔屬材料以為輔助。例如鋼鐵易銹，須塗油漆以保護之。混凝土池可用土瀝青以防水。房屋建築須用玻璃以透光。此等油漆、土瀝青及玻璃等輔屬材料以其物理性質或化學性質為主，而不需有佳良之機械性質，即與抵抗外力無關係也。

工程材料之研究範圍包括上述之基幹材料與輔屬材料。闡明各項材料之特性與效能，以求適材之用於適處。並檢驗材料性質之良否，以促進製品之改善。一切製造工業之技術與設計均以材料之性狀為根據。而新材料之研究與發明亦促進技術與設計之進步。工程材料之研究與其知識之普及實為促進工業技術之階梯。

本書為工程材料學第一卷，專述金屬材料及其熱處理。首述金屬及合金之基本概念，如顯微鏡組織與合金之平衡圖等。次述各種鋼鐵及非鐵合金之製造、加工、性質、用途、與熱處理等等。

卷末並附以防蝕法之概要。供大學教材及實地技術人員之參考。  
原稿雖屢經修改增刪，然難免有拉雜欠妥之嫌。尚祈讀者有以教

本書內資料與圖幅採自下列各書籍雜誌之處較多，爰附誌焉。

Bullens, Steel and Its Heat Treatment, Vol. I, II, III, 1949

Samans Engineering metals and Their Alloys, 1949

ASM. Metals Handbook, 1949

Metals Progress

本書蒙正中書局之協助得以出版。並蒙柯昆玉先生之賡寫繪  
圖 得以影印。並此誌謝。

著 者 識

# 工程材料學

## 第一卷

### 金屬材料及熱處理目次

第一章	純金屬	
1.1	結晶粒	1
1.2	塑性變形	4
1.3	機械加工	7
1.4	同素變態	10
第二章	主要機械性質之常用試驗法及不損製品之檢驗法	
2.1	硬度試驗	13
2.2	抗拉試驗	16
2.3	衝擊試驗	18
2.4	疲勞試驗	20
2.5	潛變試驗	22
2.6	制震能	25
2.7	彎曲試驗	25
2.8	凹壓試驗	26
2.9	不損製品之疵瑕檢驗法	26
第三章	合金理論	
3.1	合金之組成物	33
3.2	相律	35
3.3	二成分系合金之平衡圖	37
3.4	三成分系合金之平衡圖	47
3.5	合金性質與二成分系平衡圖之關係	48
第四章	鐵及鋼之製造及成形	

4.1 鐵及鋼之分類	53
4.2 生鐵之製造	54
4.3 鋼之製造	58
4.4 鋼錠內之疵瑕	69
4.5 金屬材料之成形法	71
4.6 鋼錠之軋延	71
4.7 鋼品之鍛造	74
4.8 鋼管之製造	75
4.9 拉線及其他常溫成形法	81
4.10 壓粉冶金術	84
4.11 融 接	85
4.12 鑄 造	93
4.13 擠 延	97

## 第五章 碳鋼及其熱處理

5.1 工業用純鐵	101
5.2 Fe-Fe <sub>3</sub> C系平衡圖	101
5.3 鋼之正常組織	105
5.4 鋼中不純物之影響	109
5.5 易切鋼	112
5.6 美國SAE-AISI鋼	113
5.7 退 火	122
5.8 鑄鋼及過熱鋼之費德曼組織	126
5.9 完全退火	127
5.10 球化處理	131
5.11 正常化	132
5.12 析出硬化	132
5.13 碳鋼之淬火	138
5.14 臨界冷速	143

5.15	淬火液	144
5.16	殘留沃斯田鉄	146
5.17	淬火應力及應變	147
5.18	回火	149
5.19	沃斯田鉄之晶粒大小	153
5.20	鋼之硬化能	158
5.21	鋼之硬化能試驗法	162
5.22	H 鋼	167
5.23	Bain 氏 S 曲線	169
5.24	S 曲線之應用	176
5.25	碳鋼之熱處理後之性質及其用途	83
<b>第六章 鋼之表面硬化</b>		
6.1	概說	191
6.2	火焰硬化法	191
6.3	感應電熱硬化法	192
6.4	滲碳法	195
6.5	滲碳鋼之選擇	197
6.6	固体滲碳法	200
6.7	氣體滲碳法	205
6.8	液体滲碳法	207
6.9	氰化法	209
6.10	滲碳氮化法	212
6.11	滲碳後之熱處理	212
6.12	氮化法	216
<b>第七章 合金鋼</b>		
7.1	概說	223
7.2	合金元素在鋼內之機能	225
7.3	微化晶粒之合金元素	232



7.4 增進硬化能之微量合金元素 ..... 233

A. 構造用合金鋼

I. 用於正常化狀態之合金鋼

7.5 高降伏点低合金鋼 ..... 237

7.6 其他用於正常化狀態之合金鋼 ..... 240

II. 熱處理用合金鋼

7.7 錳 鋼 ..... 244

7.8 鉻 鋼 ..... 246

7.9 鉬 鋼 ..... 253

7.10 鎢 鋼 ..... 255

7.11 釩 鋼 ..... 258

7.12 矽 鋼 ..... 260

7.13 鎳 鋼 ..... 262

7.14 銅 鋼 ..... 266

7.15 含二種合金元素之合金鋼 ..... 269

7.16 複合金鋼 ..... 277

7.17 鑄 鋼 ..... 280

7.18 鋼 軌 ..... 284

7.19 淬水回火用之彈簧鋼 ..... 286

B. 特殊用合金鋼

7.20 低溫用鋼 ..... 290

7.21 高溫用肥粒鉄鋼 ..... 295

7.22 高溫用沃斯田鉄鋼 ..... 307

7.23 超耐熱合金 ..... 314

7.24 不銹鋼 ..... 318

7.25 耐磨損之鋼 ..... 324

7.26 合金工具鋼及模鋼 ..... 329

7.27 高速鋼 ..... 333

7.28 硬質工具合金	339
7.29 矽鋼片	343
7.30 耐久磁石鋼	346
7.31 沃斯田鐵狀態之鐵鎳合金	351

### 第八章 鑄鐵

8.1 灰鑄鐵	359
8.2 白鑄鐵及冷硬鑄鐵	362
8.3 灰鑄鐵之性質	363
8.4 鑄鐵內各元素之影響	369
8.5 高強度鑄鐵	370
8.6 合金鑄鐵及接種鑄鐵	371
8.7 鑄鐵之熱處理	375
8.8 延性鑄鐵	376
8.9 展性鑄鐵	378

### 第九章 鋁及鋁合金

9.1 鋁	383
-------	-----

#### A. 鑄造用鋁合金

9.2 鑄造用鋁合金	387
9.3 Al-Cu 合金	389
9.4 Al-Zn 合金	395
9.5 Al-Cu-Zn 合金	395
9.6 Al-Si 合金	396
9.7 Al-Mg 合金	400
9.8 Al-Cu-Mg 合金	402

#### B 鍛造用鋁合金

9.9 鍛造用鋁合金	407
9.10 杜拉鋁	409
9.11 超杜拉鋁	412

9.12	含鋅杜拉鋁	414
9.13	耐蝕性鍛造用鋁合金	417
9.14	其他鍛造用鋁合金	418
9.15	鋁合金之表面處理	419
第十章 鎂及鎂合金		
10.1	鎂	423
10.2	二成分系鎂合金	426
10.3	實用鎂合金	430
10.4	鎂合金之鑄造	433
10.5	鎂合金之加工與接合	436
10.6	鎂合金之表面處理	439
第十一章 銅及銅合金		
11.1	銅	443
11.2	銅鉛合金	448
11.3	黃銅	449
11.4	特殊黃銅	457
11.5	青銅	462
11.6	磷青銅	467
11.7	矽青銅	470
11.8	鋁青銅	473
11.9	銅鐵合金	480
11.10	錳青銅及Cu-Mn系合金	485
11.11	銅鎳合金	486
11.12	銅鎳鋅合金	492
第十二章 鎳及鎳合金		
12.1	鎳	497
12.2	海史斗合金	499
12.3	鎳鉻合金	502

12.4 英高鎳合金	505
12.5 其他鎳合金	507
12.6 電阻用合金	507
12.7 熱電偶用合金	512
第十三章 鋅及其合金	
13.1 鋅	515
13.2 鋅合金	517
第十四章 鉛、錫及其合金	
14.1 鉛	521
14.2 錫	522
14.3 鉛錫合金	524
14.4 鉛錫合金	525
14.5 軸承合金	527
14.6 錫基軸承合金	531
14.7 鉛基軸承合金	535
14.8 其他軸承合金	538
14.9 鉛字合金	544
14.10 易鎔合金	547
14.11 硬焊合金	549
第十五章 鈦及其合金	
15.1 鈦	553
15.2 鈦之合金	555
第十六章 鎳、鉬及其合金	
16.1 鎳及其合金	559
16.2 鉬及其合金	560
第十七章 貴金屬及其合金	
17.1 銀及其合金	561
17.2 金及其合金	562

17.3 鉑及其合金 .....	565
第十八章 金屬之腐蝕	
18.1 金屬之腐蝕 .....	567
18.2 高溫時之腐蝕 .....	568
18.3 電氣化學作用之腐蝕 .....	568
18.4 影響於金屬腐蝕之諸事項 .....	570
18.5 銹之腐蝕 .....	571
18.6 金屬之防蝕 .....	573
18.7 掩護防蝕法 .....	574

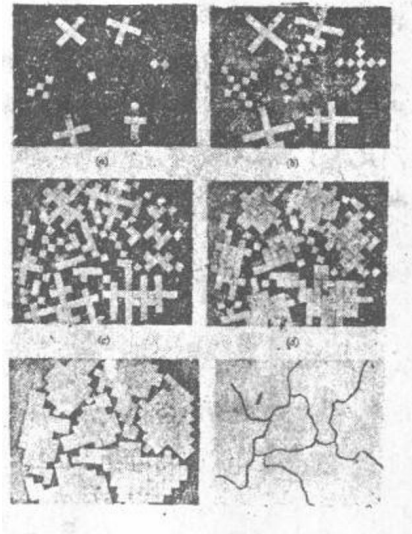
# 工程材料學

## 第一卷

### 金屬材料及熱處理

#### 第一章 純金屬

1 結晶粒 純金屬由融液凝固時，液內生多數結晶核，其結晶軸取種種方向，如第1圖(a)所示。凝固進行時液內原子漸依各核之軸向凝集，成有規則排列而成多數微晶。各核漸次生長。每核上所附集之微晶皆有同一軸向，然相異核內微晶之軸向則互異。各結晶核之生長過程如第1圖(b)，(c)，(d)所示。凝固終結後每一結晶核生長成為一結晶粒(*crystal grain*)。晶粒之境界面有不規則之外形，如第1圖(e)，(f)所示。即每晶粒為不規則之多面體。融液凝固時，結晶核沿其結晶軸方向上之生長速度較他方向上者為大。例如立方結晶之迅速生長軸向互成直角，六方結晶在其底面上之迅速生長軸向有六枝，互成 $60^\circ$ 。自融液凝固之各粗大結晶粒內皆有此種樹枝狀組織

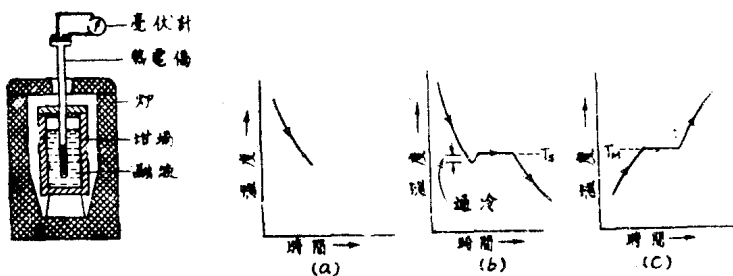


第1圖

(dendritic structure)。例如錫鉛等鑄塊表面常有美麗之樹枝狀結晶花紋。鑄品內部因凝固收縮而所留空隙內亦常生樹枝狀晶(dendritic crystal)。鑄錠(ingot)經高溫鍛軋後 偏析(segregation)部分充分擴散，樹枝狀組織被破除，而成勻質之等軸多角形晶粒(equi-axial polygonal grain)。

固體金屬皆為結晶質，其原子排列有一定規則。融液之原子排列則無一定規則。結晶粒境界面上之原子為二相隣晶粒所共有無一定軸向，有非晶質填充說(amorphous cement hypothesis)。金屬內所含微量不純物亦多集中於此境界面上。非晶質無延性(ductility)，低溫時較結晶質有更大強度而硬脆。高溫時則強度小。故金屬破斷於低溫時起粒內破壞(transcrystalline fracture)，在鎔點稍下方之高溫時起粒間破壞(intercrystal line fracture)。然此非晶質說頗有疑問。凡晶粒境界面較其內部易起化學作用與物理變態(transformation)。

純金屬之鎔融與凝固時有潛熱之吸收與放出。其溫度變化與時間之關係有加熱曲線及冷卻曲線，如第2圖所示。由此曲線可測定純金屬之鎔點。純金屬之鎔點與凝固點相一致。而合金之鎔融與凝固多進行於某溫度範圍內。

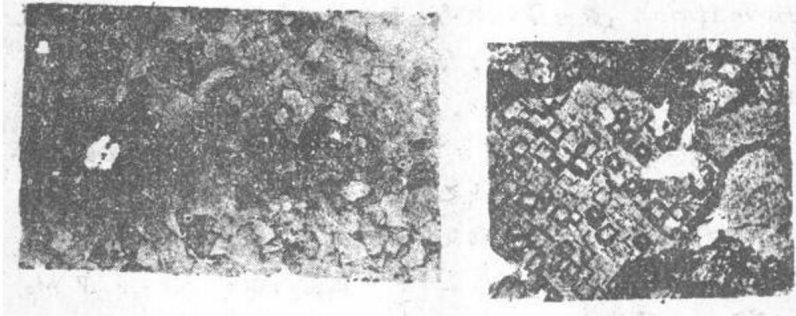


第 2 圖

溫度升至某限度(再結晶溫度或變態溫度)以上時，結晶粒可增大 此曰晶粒生長(grain growth)。細晶粒為其隣接之粗晶

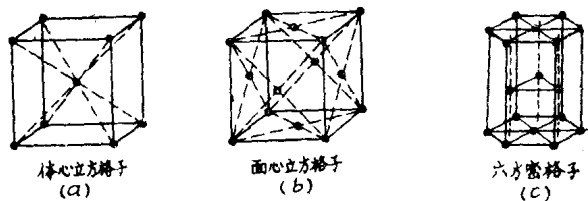
粒所併合，或數多細晶粒凝集成粗晶粒。結晶核數愈多者一定質量之金屬內生成微細晶粒，反之則成粗晶粒。純金屬內含有金屬或非金屬之不純物者增多結晶核，而晶粒微細。金屬融液令却速者凝固時增加結晶核之數，其晶粒較徐冷者為細。又凝固後速冷者晶粒留於各溫度之時間較短，不易生長，亦成微晶粒。故金屬鑄造於金屬模者其晶粒較鑄造於砂模者為微細。微晶粒時之機械性質 (*mechanical properties*) 較粗晶粒者為優。

純金屬之結晶粒及合金內之組織可利用反射光線於顯微鏡下觀察之。先將鋸取之試樣經多次粗磨(用磨輪)與細磨(用砂紙)及精磨(用氧化鋁等細粉與水之混合液)後表面光滑如鏡。此時在顯微鏡下以垂直照明視之，則除鑄鐵內之石墨或鋼內之夾雜物與氣孔等外，僅見明亮之面，而不能辨其組織。須用適當之浸蝕液 (*etchant*) 以浸蝕磨面(例如鋼鐵用 2% nital 或 5% picral)，則純金屬之晶粒境界易起化學作用而溶解，其境界線凹下。故在顯微鏡下可明辨晶粒之境界及其大小。第 3 圖 (a) 示工業用純鐵之晶粒，稱曰肥粒鐵 (*ferrite*)，放大倍數為 200 倍(實有直徑  $\times 200$ )。浸蝕時間稍長時，各晶粒有明暗之分。此因各晶粒之軸向互異，其抵抗化學作用亦異也。浸蝕時間充分延長時，則晶粒面生蝕孔 (*etching pit*)，顯出微晶之輪廓；如第 3 圖 (b) 所示。





1.2. 塑性變形 固態金屬之原子在空間之排列有一定規則。每微晶內之原子排列規則可用空間格子 (space lattice) 表示之。即沿空間同種結晶軸方向上任何相隣二原子間之距離必相等。此距離稱為格子常數 (lattice constant)。結晶之空間格子型及格子常數可用X線繞射法 (X-ray diffraction method) 求得之。多數重要金屬之格子型或為體心立方 (body-centered cubic lattice, B.C.C.)，如第4圖(a)，或為面心立方 (face-centered cubic lattice, F.C.C.)，如第4圖(b)，或為六方密格子 (hexagonal close-packed)，如第4圖(c)。下表示重要金屬元素之數種物理常數。



第 4 圖

延性金屬之單結晶上所受外力超過降伏點 (yield point) 後，則結晶內部沿最易滑動之格子面上最易滑動之方向起滑動 (slip) 產生永留變形 (permanent set)，此為塑性變形 (plastic deformation)。最易滑動之格子面為原子密度最大之格子面，亦即隣接面間距離最大之格子面。該格子面內最易滑動之方向為原子密度最大之格子直線方向。此原子最密之格子面與格子直線之方向種類較多者，結晶內部易滑動，易起塑性變形，而該金屬之展延性大。例如面心立方格子之金屬如 Cu, Al,  $\gamma$ -Fe, Ni, Au, Ag 等有四種原子最密之格子面及十二種原子最密之格子直線。故此等金屬之展延性最大。體心立方格子之金屬如  $\alpha$ -Fe, Cr, V, Mo, W 等雖有六種原子最密之格子面，然其密度較面心立方者為小。此類金屬有四種原子最密之格子直線，而有高強度與中等展延性。