

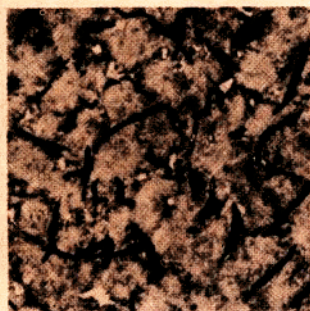
科技用書

現代工業材料總覽

石田制一
佐多敏之
田中良平
西岡篤夫

等編著

工業材料
金屬材料
無機材料
高分子材料



賴 耿 陽譯著

復漢出版社印行

科技用書

TB3
ZS59K

現代工業材料總覽

石田制一
佐多敏之
田中良平
西岡篤夫

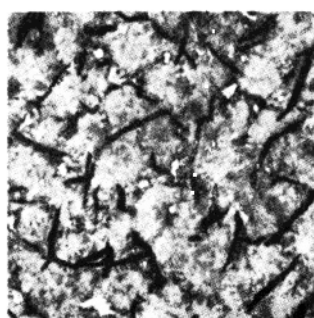
15週年紀念
1973-1988
專編著圖書公司



A0401482

659643

工業材料
金屬材料
無機材料
高分子材料



施世筑 贈送
華僑大學圖書館藏

賴耿陽譯著

復漢出版社印行

中華民國七十二年三月一日出版

現代工業材料總覽

原著者：石田制一共著

譯著者：賴耿陽

出版者：復興出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

地址：台南市安平路五五六號

打字者：克林照相植字排版打字行

地址：台南市海安路和平街一二七巷二號

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

版權所有
翻印必究

平裝 三六〇元
精裝 四〇〇元

序

現今的科學技術進步神速，但是，就其內容而言，不論機械技術、電氣技術、原子能應用技術，它們的原理、設計等並未快速變化發展。倒是托福於在其原理、設計下裝配的工業材料發展驚人，足見其重要性，可說是工業的基礎。因而，最近科學技術的發展速度無異於工業材料的發展速度。

工業材料分爲金屬、非金屬，都異常發達。以往用金屬材料的部位漸改用非金屬材料，當然也有相反的情形，總以經濟、效率、功能爲準繩。技術者即是工業材料的使用者，有必要把握工業材料的知識。

本書由以上的觀點，以工業材料的使用者爲對象，扼要、平易編輯，盡量避免理論敘述，但也不遺漏新開發的物理、化學性質等。所以，編者深信此書可供高工、工專、大學工學院用爲教科書、參考書，更是一般工廠技術者座右應有的參考書。

編 者

工業材料／目次

第 1 篇 工業材料	1
第 1 章 工業材料序論	1
1.1 工業材料的分類	1
1.2 化學結合	3
1.3 流動與成形	4
1.4 材料物性	6
1.5 工業材料的可靠性	14
第 2 篇 金屬材料	16
第 1 章 序論	16
1.1 工業材料用的金屬與合金	16
1.2 金屬材料的工業生產	16
第 2 章 金屬材料的性質	19
2.1 物理性質	19
2.2 金屬的結晶構造	23
2.3 格子缺陷	25
2.4 機械性性質	26
2.5 化學性質	32
2.6 核的性質	37
第 3 章 金屬材料的製造與加工	38
3.1 金屬製鍊與材料的製造	38

3.2 金屬材料的成形方法	40
第4章 金屬材料的強化機構	43
4.1 固溶強化	43
4.2 加工硬化	44
4.3 結晶粒微細化所致的強化	44
4.4 麻田散鐵變態所致的強化	44
4.5 析出硬化	45
4.6 沃斯成形鋼與麻時效鋼	46
第5章 金屬材料的檢查法	47
5.1 金屬顯微鏡及金屬研磨法	47
5.2 狀態圖	50
第6章 鐵鋼材料	51
6.1 鐵鋼材料的分類	52
6.2 碳鋼的平衡狀態圖與組織	54
6.3 鋼的熱處理	56
6.4 碳鋼與合金鋼	59
6.5 構造用鋼	59
6.5.1 構造用鋼的種類	61
與用途	60
6.5.2 機械構造用鋼的	70
選法	70
6.6 鑄鋼及鑄鐵	78
6.6.1 鑄鋼、鑄鐵應考	79
慮的事項	79
6.6.2 鑄鋼	79
6.6.3 鑄鐵鑄物	93
6.7 工具材料	107
6.7.1 工具用材料的種	109
類與分類	107
6.7.2 工具用材料	109
6.8 不銹鋼	123
6.9 耐熱鋼	126

第7章 非鐵金屬材料..... 129

7.1	Mg 及Mg 合金.....	129
7.2	Al 及Al 合金	137
7.3	Cu 及Cu 合金	157
7.4	鈦與其合金	179
7.5	鎳與其合金	181
7.6	鈷與其合金	182
7.7	鋅與其合金	184
7.8	鋁及錫與 它們的合金	184
7.9	其他金屬及合金	186
7.10	半導體.....	189

第8章 材料的疲勞強度..... 190

8.1	材料的疲勞	190
8.2	S-N 曲綫	191
8.3	疲勞限度	191
8.4	時間強度	192
8.5	材料疲勞的進行與組織的關係	192
8.6	疲勞限度曲綫圖	194
8.7	疲勞限度曲綫圖的畫法	196
8.8	抗拉強度與疲勞限度	196
8.9	凹口效果	197
8.10	質量效果與尺寸效果.....	202
8.11	壓力及常溫加工.....	202
8.12	荷重反覆速度及試驗溫度.....	203
8.13	組合荷重、重複荷重、變動荷重、荷重休止組合荷重	204
8.14	疲勞所致的變形.....	205
8.15	疲勞破壞的破斷面.....	206
8.16	結語.....	208

第3篇 無機材料.....212

第1章 序論.....212

1.1 無機材料與其特色212

1.2 無機材料的工業生產219

第2章 無機材料的性質.....220

2.1 結晶與其轉移220

2.2 結晶的缺陷與離子移動224

2.3 非晶質與玻璃226

2.4 材料的微構造227

2.5 熱性質229

2.6 力學性質233

2.7 電磁性質236

2.8 光學性質243

2.9 核性質246

2.10 化學性質.....247

第3章 無機材料製造法.....248

3.1 粉粒體248

3.2 粉體成形248

3.3 成形體的燒成與燒結249

3.4 熔融與成形252

3.5 粒體的加熱處理253

3.6 固相反應254

3.7 結晶成長256

3.8 薄膜與纖維258

3.9 複合材料259

第4章 氧化物材料.....260

4.1	矽氧材料	260
4.2	鋁氧材料	262
4.3	$\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$	264
4.4	鹼土族氧化物材料	265
4.5	過渡元素氧化物材料	268
4.6	其他的氧化物材料	274
4.7	耐火物及絕熱磚	275
4.7.1	定義	276
4.7.2	分類	276
4.7.3	耐火物應具備的	
4.7.4	要件	276
4.7.4	製造方法	277
4.8	水泥	281
4.8.1	定義	281
4.8.2	分類	286
4.8.3	普特蘭水泥	287
4.8.4	早強普特蘭水泥	
	(JIS R 5210)	293
4.8.5	特殊普特蘭水泥	297
4.8.6	混合水泥	297
4.8.7	雜用水泥	297
4.8.8	鋁氧水泥	297
4.8.9	鎂氧水泥	298
4.8.10	混凝土	298

第5章 高分子矽酸鹽材料 300

5.1	矽酸鹽的構造與物性	301
5.2	粘土礦物	302
5.3	鹼氧化物- $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系	305
5.4	陶瓷器	306
5.5	玻璃	307

第6章 碳材料 313

6.1	鑽石	314
6.2	石墨	314
6.3	含無定形碳的製品	316

第7章 氯化物以外的化合物材料 316

7.1	化學結合與物性	317
7.2	化合物的元素組成與結晶構造	317
7.3	硼及硼化物	318
7.4	碳化物	319
7.5	氮化物	320
7.6	矽化物	321
7.7	Chalcogen 化物	321
7.8	III - V 化合物半導體	322
7.9	鹵化物	323
第8章	研磨材料	324
8.1	概說	324
8.2	人造砂輪	325
8.3	人造砂輪的性質	326
8.4	砂布砂紙	327
8.5	油脂性研磨材	328
第4篇	高分子材料	329
第1章	高分子工業材料概況	329
1.1	高分子材料的工業生產	329
1.2	高分子與高分子材料	332
第2章	高分子材料物性	335
2.1	T_g 、 T_m 與橡膠、塑膠、纖維的關係	335
2.2	高分子的基礎物性	336
第3章	高分子材料的成形加工	356
3.1	成形加工法的分類	356
3.2	流動	358
3.3	成形法(一次性)	362

3.4 其他成形加工法	368
第4章 代表性高分子材料的特性	369
4.1 塑膠	370
4.2 橡膠	378
4.3 纖維	380
4.4 接著劑	383
第5章 高分子材料的改質及其他問題	387
5.1 高分子材料的改質	387
5.2 複合材料	389
5.3 新材料	392
5.4 高分子材料的劣化與安定化	394
5.5 塑膠的廢棄物處理	400
5.6 高分子化學工業的未來	402
第6章 潤滑劑	403
6.1 潤滑劑的種類及其性質	403
6.2 礦物性潤滑油的種類及其用途	406
6.3 脂肪性潤滑油及混成潤滑油	406
6.4 特殊潤滑油	407
6.5 滑脂及固體潤滑油	407
第7章 塗料	408
第8章 紙、纖維、繩索及木材	410
8.1 漿料	410
8.2 紙、纖維	413
8.3 繩索	414
8.4 木材	415

第9章 保溫材、防音材、電絕緣材	415
9.1 保溫材	415
9.2 防音材	416
9.3 電絕緣材料	417

第 I 篇 工業材料

第 I 章 工業材料序論

工業材料分爲金屬材料 (metallic material) 與非金屬材料 (non-metallic material)。金屬材料主要有鐵鋼材料 (ferrous metal)、銅合金 (copper alloy)、鎳合金 (nickel alloy)、輕合金 (light alloy) 及錫、鉛、鋅合金等。非金屬材料的種類甚多，大別爲無機質材料 (inorganic substance)、有機質材料 (organic substance)，無機質材料包括石材 (stone)、砂 (sand)、陶瓷 (porcelain)、粘土 (clay)、玻璃 (glass)、琺瑯 (enamel)、人造無機纖維 (artificial inorganic fiber)、水泥 (cement)、石灰 (lime)、石膏 (plaster) 等。有機質材料包括木材 (wood，包含竹材)、紙 (paper)、布 (cloth)、繩索 (rope) 等纖維質材料 (fibrous material)、賽璐珞 (celluloid)、電木 (bakelite) 及其他可塑物 (plastics)、塗料 (paint)、油漆布 (linoleum)、油布類 (oil cloth)、橡膠類 (gum)、皮革 (leather)、燃料 (fuel)、潤滑油 (lubricant)、瀝青質材料 (asphalt)、膠着劑 (glue)、糊料 (paste)、電絕緣材料 (electric insulating material)、保溫材料、耐火物 (fireproof material)、防音材料 (sound arresting material)、研磨材料 (polishing material) 及水等。

在進入各論前，先解說若干必要事項，以便總合把握各種材料共同的基礎事項。

1.1 工業材料的分類

工業材料無確定的定義，若泛指各種工業使用的材料，實漫無頭緒

，在此依二三種觀念分類：(1) 依材料的物理狀態分類，(2) 材料的化學分類，(3) 依材料用途分類。

(1) 依物理狀態分類 自然界物質的存在狀態在物理上有氣體、液體、固體三種，但這是以常溫的物理狀態區別，有很多工業材料以其中兩種狀態使用，所以此種分類法在工學上不大方便。但在化學工學的立場，不着眼於特定材料，研討熱力學立場、單元操作、輸送過程等時，此種分類也有意義。特別是處理氣體、液體等流體時更重要。但工業材料的最經使用狀態大都為固體，所以本書不談氣體材料，液體材料也不占很多篇幅。不過，製造材料時，流動或成形很重要，所以也稍敘述材料的液體性質。

一般很少用「氣體材料」的名詞，不過，有氫、氧、氮等一般用到各種工業用氣體，也有用為電氣絕緣材料的高絕緣耐力氣體等特定用途者，確為工業材料的分野之一。常以液體使用的材料大都為有機材料，諸如油脂塗料等。原子爐用冷卻媒體之一為液體金屬鈉。

(2) 材料的化學分類 此法分為金屬材料、無機材料、有機材料（包含高分子材料）。

人類的文明起源於材料的使用法，本身為有機材料，用無機材料為道具，發見金屬材料，達成劃時代的進步。金屬工學科或冶金學科等即為金屬材料的發展。窯業學科或無機材料工學科即為無機材料的歷史。應用化學科、工業化學科、合成化學科、高分子學科、纖維學科等即為有機材料或高分子材料的進步。此分類法大致依據化學結合的差異一亦即金屬結合、離子結合、共價結合三者在金屬材料、無機材料、有機材料的獨特表現。不過，討論個別材料時，單是如此仍嫌不夠，只大分類時有意義。

近年技術革新的三大支柱為原子能、電子工學、塑膠，其發展却與金屬材料、無機材料、有機材料密切關連，此分類法也大致適用。電子工學以半導體材料為主角，磁性材料也是重要角色，它們也跨越金屬材料與無機材料兩方面。有機材料也漸從天然材料改用合成高分子材料，工業材料的有機材料若包含高分子材料，則其大部份為高分子材料。

(3) 依用途分類 工業材料不只在機械工業、電氣工業、化學工業、土木建築及其他工學部門，醫學、農學、理學等部門也選擇符合特

定要求的材料，有時研究實用化而供使用，所以用途分類很龐大。對上述各工業部門的技術者而言，若有適合各該部門的材料分類，就很方便，坊間也有很多這類書籍。各種便覽或手冊類也列有專門性的材料分類。此種分類在社會上工作時很方便，但在學術上不易體系化。

以電氣材料為例，此內容由導電材料、磁性材料、半導體材料、絕緣材料、構成材料等組成，各成一體系，電氣材料只是一種泛稱，一個人很難全盤精通。亦即任何工業部門所用的工業材料大致包含在金屬材料、無機材料、有機材料三種。

1.2 化學結合

工業材料的三大代表—金屬材料、無機材料及有機高分子材料，支配這些材料物性的最基礎性要因是保持這些材料的形態，對外力、電場、磁場、光等有獨特反應的化學結合。構成上示材料的化學結合種類以金屬結合（金屬鍵）、離子結合（離子鍵）、共有結合（共價鍵）為主，另有配位結合、凡得瓦爾力、氫結合（氫鍵）、雙極子相互作用等各種結合力。

(1) 金屬結合 金屬結晶通常是其構成原子放出外殼的價電子，取安定的閉殼電子配置，成為正離子，占有格子點，放出的電子成為自由電子，不被特定金屬離子束縛，屬於結晶格子全體共有，藉而保持結晶形態，此即金屬結合（金屬鍵）。此種自由電子的共有或非局部性造成良好的電傳導或熱傳導。

(2) 離子結合 食鹽為無機結晶的典型例，正負離子有規則地占有格子點，產生保持結晶之力，此為離子結合（離子鍵），常見於無機材料。金屬常只由一種原子組成，無機材料為離子結合時需要正負二種離子，故成電氣陰性度相反者的組合。

無機材料中，矽酸塩材料的主成分為二氧化矽（ SiO_2 ）、氧化鋁（ Al_2O_3 ）結晶，Si或Al與O的結合不只是離子結合，共有結合性（共價鍵）也相當大。 $[\text{SiO}_4]$ 四面體共有角隅的O，若以共有結合連結成二次元、三次元，全體產生有負電荷之高分子離子，與鹼金屬或鹼土金屬離子共存而形成電氣中性玻璃，此種構造很類似有機高分子無定形鏈的構造，又稱無機高分子，磷酸塩等也有鏈狀者。

(3) 共有結合 有機高分子材料的主要構成分子為C, H, O, N時, 通常這些原子組成的分子結合是構成原子共有自轉方向互反的2個電子所致, 此即共有結合(共價鍵), 又稱一次結合或主原子價結合, 鏈狀高分子的主鏈常由碳骨架組成, 此解離能通常為100 kcal/mol以上, 相當安定, 但分子間力甚弱於此, 這是鏈狀高分子容易熱變形的原因。

一原子的孤立電子對(N等)與對象原子共有而產生的結合稱為配位結合, 這也是成對的電子之一供給對方, 產生共有結合, 此時關連離子結合的形式而更複雜。

(4) 分子間力 有機高分子材料構成分子的主要是共有結合(共價鍵), 分子間力有凡得瓦爾力、氫鍵、雙極子相互作用時, 凡得瓦爾力中以分散力為主, 無極性分子間力相當於此, 有極性分子會產生感應雙極子所致的相互作用。在接着力時, 這些力的種類成為問題所在。這些分子間力在氫結合為5~10 kcal/mol, 凡得瓦爾力所致的二次性結合能約0.5~5 kcal/mol。

1.3 流動與成形

工業材料的固體材料為造成形狀, 通常是將原材料加熱成融點(結晶質)或軟化點(

無定形質)以上, 成為液體而具備流動性, 用模具等賦形具使之成所望形狀後冷却固化一流動與成形的過程, 故須先知道材料的流動特性。

有關融解金屬流動的資料不多, 在十分高的溫度會接近牛頓流動(即

表 1.1 金屬的粘度

Cu	$4 \sim 5 \times 10^4$ (30°C)	4×10^2 (1100°C)	2.6×10^2 (1400°C)
Al	2.8×10^4 (22°C)	2.9×10^2 (700°C)	1.4×10^2 (800°C)
Zn	1.07×10^4 (22°C)	0.4×10^2 (430°C)	0.37×10^2 (480°C)
Fe	14×10^4 (30°C)	6.8×10^2 (1550°C)	5.3×10^2 (1880°C)
Ag	12.5×10^4 (13°C)	3.38×10^2 (960°C)	2.59×10^2 (1300°C)
Na	0.7×10^2 (104°C)	0.38×10^2 (250°C)	0.182×10^2 (700°C)

使改變剪斷應力，也不改變粘度），表1.1為各種金屬的粘度資料，利用熔融金屬液體之流動性的成形法以鑄造（casting）為最簡單的方法，不過，金屬材料的主要成形加工是利用固體可塑性的鍛造或塑性加工，此時，須知金屬材料的潛變（creep）或應力緩和等粘彈性性質（同時呈現粘性與彈性）。

無機材料中，玻璃有過冷液體的特色，比容—溫度曲線有彎曲點（玻璃溫度 T_g ），在此溫度（ $400 \sim 500^\circ\text{C}$ ）有 $10^{12} \sim 10^{13}$ poise（粘度的cgs單位）的粘度，在 600°C 以上為 10^{10} 以下。鈉玻璃通常在 $800 \sim 1200^\circ\text{C}$ 加工，粘度為 $10^4 \sim 10^6$ poise。剛以此種高粘度成形後，有殘留應力或應變，為將之消除，加熱到徐冷點後，在 T_g 正下方的溫度充分徐冷。熔融鑄造耐火物也同樣，但成形後不可能變形，只能切斷或研磨。陶瓷常採用粉末原料的冷間成形—燒結或高溫成形，這是經流動、擴散、蒸發、凝結等物質移動，完成成形，金屬材料的粉末冶金也是同樣的原理。

高分子材料是加熱到無定形高分子的玻璃轉移溫度（ T_g ）以上、結晶性高分子的融點（ T_m ）以上，賦予液體的流動性，然後藉外力賦形，但非牛頓性（增高剪斷應力時，粘度驟降）顯著，通常成形時的粘度為 $10^3 \sim 10^5$ poise。熱硬化性材料是用液狀原料，通常加熱，引起化學反應，在模具中完成賦形，但也可利用反應中間階段的流動性，縮短加工時間。

高分子材料的流動與成形的特色之一是除了熔融固體而成形的方法之外，也有纖維紡絲之類用濃溶液的場合（濕式及乾式紡絲），乳膠、糊、乳液等分散系也可用於加工，此時，以低滑動速度驟降粘度，若施加外力會破壞膠凝體（gel）構造而易流，靜置後，再膠凝化—thixotropic（凝液性）。但聚四氟化乙烯之類在熔融狀態也有 10^{11} poise的高粘度。此時，以類似金屬材料之粉末冶金或陶瓷燒結的方法，進行粉末成形，或加低分子滑劑成形後，在高溫將之解決。

成形操作通常包括冷卻、固化、熱處理。這有成形收縮率、殘留應力、殘留應變等工學問題，材料本身結晶化所致的高次組織與熱處理所致的再配置為基本問題，這些因子很支配成為製品後的材料物性，合成纖維即其一例。