

科學技術用書

粉末冶金學概論

本適合冶金工程師・機械設計・
工場實用參考・大專相關科系教材

松山芳治 著
三谷裕康
鈴木壽
賴耿陽 譯著

復漢出版社印行



粉末冶金學概論

本適合冶金工程師・機械設計・
工場實用參考・大專相關科系教材

松山芳治
三谷裕康 著
鈴木壽
賴耿陽 譯著

復漢出版社印行

江苏工业学院图书馆
藏书章



大成圖書公司
C\$30.00

六十六年十二月出版

粉末冶金學概論

原著者：松山芳治等 原著

譯著者：賴耿陽

出版者：復漢出版社

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 五一〇元 B
精裝 一七五元

序

近代粉末冶金已有 60 餘年的歷史，鐵及銅系燒結零件的實用化也已 10 數年，各工業界對粉末冶金更加關心，此時此地，發行粉末冶金的單行本。

今天，從事粉末冶金的技術者及製造者固然需要這方面的知識，即使站在使用其製品的立場，也有瞭解的必要，本書從以上的觀點執筆，對高深的原理也盡可能平易說明，並搜集最近開發的原理及技術，想必適於學生、研究者、技術者參考。

本書的內容從粉末冶金的定義開始，敘述一般製造工程及方法的得失，解說金屬粉的一般製造及其特性、粉末的混合及加壓成形。

燒結為粉末冶金法的基礎，故為主題之一，詳述燒結現象與其機構，燒結技術也占不少篇幅；並解說粉末及壓粉體、燒結體性質的測定法；後半部為粉末冶金製品各論，從高融點金屬材料到超硬合金、陶性合金、鐵及銅系燒結機械零件等，盡量詳述原料、製造方法、特性、用途。

以本書為教科書時，請依鐘點數適當取各章。

譯者 賴耿陽

**成功大學
工程科學系人**

1977年12月

著者簡介

松山芳治

1899 年	生於奈良縣
1925 年	東北大學理學部實驗物理學科畢業
現 在	芝浦工業大學大學院教授、理學博士
執 筆	第 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 章

三谷裕康

1916 年	生於京都府
1942 年	大阪大學工學部冶金學科畢業
現 在	大阪大學工學部教授，工學博士
執 筆	第 10, 11, 12, 13, 14 章

鈴木壽

1925 年	生於茨城縣
1950 年	東京大學工學部冶金學科畢業
現 在	東京大學工學部教授，工學博士
執 筆	第 7, 8 章

粉末冶金學／目次

第一章 粉末冶金概說.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 粉末冶金法的製造工程.....	5
1.2.1 混合.....	5
1.2.2 加壓成形.....	5
1.2.3 燒結.....	6
1.2.4 再加壓.....	6
1.2.5 滲入.....	6
1.2.6 滲透.....	7
1.2.7 其他的後處理.....	7
1-3 粉末冶金法的得失.....	7
1.3.1 粉末冶金法的長處	7
1.3.2 粉末冶金法的短處	9
1.3.3 粉末冶金法的利 用.....	11
第二章 金屬粉.....	12
2-1 金屬粉的生產.....	12
2-2 金屬粉的製造方法.....	13
2.2.1 搗碎機.....	14
2.2.2 球磨法.....	14
2.2.3 刀切法.....	15
2.2.4 渦流粉碎法.....	16
2.2.5 微粉機.....	17
2.2.6 噴霧法.....	17
2.2.7 凝結法.....	18
2.2.8 熱分解法.....	18
2.2.9 還原法.....	18
2.2.10 析出法.....	19
2.2.11 置換法.....	19
2.2.12 電解法.....	19
2.2.13 合金分解法.....	20
2.2.14 有機溶媒法.....	20
第三章 粉末的特性.....	21
3-1 粉末的粒度、分佈及形狀.....	21
3.1.1 粒度.....	21
3.1.2 粒度分佈.....	22

3.1.3	粒形及粒的構造	22
3-2	粉末的密度	23
3-3	流動性	24
3-4	成形性與壓縮性	25
3-5	粉末所含的不純物	25
第四章	粉末的混合	27
4-1	混合狀態的檢查	27
4-2	混合的目的	29
4.2.1	合金成分的混合	29
	調整多孔度	29
4.2.2	游離成分的混合	29
4.2.4	添加結合劑	30
4.2.3	混合非金屬粉而	
4.2.5	添加滑劑	30
4-3	混合機	30
第五章	粉末的加壓成形	33
5-1	加壓與粉體	33
5.1.1	粉末的加工	33
5.1.3	複數斷面的加壓	34
5.1.2	加壓方向與壓粉	
5.1.4	有曲面的壓粉體	
	體的密度	33
	之加壓	35
5-2	加壓成形法	37
5.2.1	壓機法	37
	續作成條帶的方	
5.2.2	離心力壓造法	38
	法	43
5.2.3	擠出法	39
5.2.7	浮游鑄造法 (	
5.2.4	靜水壓加壓法	39
	slip cating)	44
5.2.5	高溫加壓法	40
5.2.8	高能量加壓法	45
5.2.6	從金屬粉直接連	
第六章	粉末冶金的歷史	47
6-1	粉末冶金法的初期	47
6-2	粉末冶金法的後期	49
6-3	近代粉末冶金	53

6.3.1 理論研究.....	53	6.3.4 磁性材料.....	57
6.3.2 高融點金屬及超 硬合金.....	54	6.3.5 燒結機械零件...	59
6.3.3 燒結含油軸承及 集電材料.....	57	6.3.6 超耐熱材料.....	62
		6.3.7 日本粉末冶金的 歷史.....	64
6-4 粉末冶金最近的傾向與未來.....			71
6.4.1 超硬合金及陶性 合金材料.....	71	6.4.5 Al 燒結品.....	77
6.4.2 氧化物磁性材料	74	6.4.6 一般高精度燒結 機械零件.....	77
6.4.3 分散強化型材料	75	6.4.7 製造方法.....	80
6.4.4 高強度燒結品...	76		

第七章 燒結現象與燒結機構..... 84

7-1 燒結的驅動力.....	84
7-2 成分系金屬粉末的固相燒結現象.....	87
7.2.1 對燒結開始溫度 的影響.....	87
7.2.2 燒結體諸性質的 變化.....	89
7-3 成分系金屬粉末的固相燒結機構.....	96
7.3.1 粒子的接着機構	97
7.3.2 緻密化機構.....	108
7-4 多成分系的固相燒結機構.....	112
7-5 有液相存在時的燒結現象及燒結機構.....	115
7.5.1 固相對液相無溶 解度的場合.....	116
7.5.2 固相對液相有溶 解度的場合.....	117
7-6 高溫加壓的緻密化機構.....	123

第八章 燒結技術.....130

8-1 燒結爐.....	130
8-2 燒結氣氛.....	132
8-3 特殊燒結法.....	137
8.3.1 活性化燒結法...	137
8.3.2 熔滲法.....	139
8-4 燒結體的性質.....	139

8.4.1 性質的表示法	140	度	141
8.4.2 燒結體的尺寸精			
8-5 燒結後的處理	142		
8.5.1 一般的處理	142	8.5.2 燒結鍛造法	144
第九章 粉末與燒結體諸性質的測定		145	
9-1 粉末及壓粉體諸性質的測定	145		
9.1.1 篩分法 (sieving)	146	9.1.5 以透法法測定粒	156
9.1.2 顯微鏡法	146	9.1.6 以 Blaine 法測定	
9.1.3 沈降法 (sedimentation)	149	9.1.7 其他粉末特性的	157
9.1.4 沈降法的種類	150	測定方法	158
9-2 燒結體諸性質的測定	165		
9.2.1 燒結密度的測定	165	定	167
9.2.2 多孔率 (氣孔率) 的測定	167	9.2.4 硬度	168
9.2.3 有效多孔率的測		9.2.5 燒結體的機械性	171
第十章 高融點金屬材料		177	
10-1 鎢及其合金	178		
10.1.1 W 粉的製造	178	10.1.4 W 的性質	184
10.1.2 W 粉的燒結	181	10.1.5 W 的用途	187
10.1.3 W 燒結體的加工	182	10.1.6 W 合金	187
10-2 鉬及其合金	190		
10.2.1 Mo 粉的製造	190	10.2.4 Mo 的性質	192
10.2.2 Mo 粉的燒結	192	10.2.5 Mo 的用途	193
10.2.3 Mo 燒結體的加		10.2.6 Mo 合金	193
工	192		
第十一章 超硬合金及陶性合金工具		194	

11 - 1 原料碳化物.....	194
11.1.1 單一成分系碳化物.....	194
11.1.2 多成分系碳化物.....	195
11 - 2 WC基超硬合金.....	197
11.2.1 WC基超硬合金的製造法.....	197
11.2.2 WC - Co合金的性質.....	199
11.2.3 WC - TiC-Co.....	
11.2.4 WC - TiC-TaC -Co合金的性質.....	215
11.2.5 WC 基超硬合金的用途.....	217
11 - 3 TiC基陶性合金工具.....	218
11.2.1 TiC基陶性合金工具的製造.....	218
11.2.2 TiC基陶性合金.....	
11 - 4 Al ₂ O ₃ 基陶瓷工具.....	220
11 - 5 鑽石複合金.....	221

第十二章 燒結機械零件.....222

12 - 1 鐵系燒結機械零件.....	222
12.1.1 原料鐵粉.....	222
12.1.2 燒結鐵.....	223
12.1.3 燒結碳鋼.....	224
12.1.4 Fe-Cu系燒結合金.....	244
12.1.5 燒結合金鋼.....	235
12.1.6 鐵系燒結機械零件的用途.....	244
12 - 2 非鐵系燒結機械零件.....	245
12.2.1 燒結銅合金.....	245
12.2.2 燒結鋁合金.....	252
12.2.3 其他的非鐵合金.....	255

第十三章 氧化物磁心材料.....259

13 - 1 氧化物磁心材料的磁性(鐵滲氧磁性).....	259
13 - 2 氧化物磁心材料的沿革.....	262
13 - 3 氧化物磁心材料的原料.....	263
13 - 4 氧化物磁心材料的燒成.....	264

13.4.1 假燒.....	264	13.4.3 燒成.....	265
13.4.2 成形.....	265		
13-5 氧化物磁心材料的性質與用途.....	265		
13.5.1 軟磁性 Ferrite	266	13.5.3 特殊磁性 Ferrite	275
13.5.2 硬磁性 Ferrite	271		

第十四章 電接點及集電子.....281

14-1 電接點.....	281		
14.1.1 電接點用燒結合		金的性能.....	282
金的製法.....	281	14.1.3 電解點用燒結合	
14.1.2 電接點用燒結合		金的用途.....	282
14-2 集電子.....	283		
14.2.1 電刷.....	283	14.2.2 集電用滑板.....	284

1. 粉末冶金概說

1.1 前 言

JIS Z 2500 規定粉末冶金的定義，主要為金屬粉或合金粉的製造及將它們的粉末裝入模內，加壓成形（有時不加壓），其次在融解溫度（熔點）以下的溫度（混合數種金屬粉時，有時局部熔解）燒結，作成金屬製品或金屬塊的技術；有時同時進行加壓與加熱，此稱高溫壓縮（hot pressing），這些金屬粉也包含各種金屬間化合物粉末；最近利用金屬氧化物粉——例如氧化鐵、氧化鋁、氧化鈷等粉末，作成高導磁率亞鐵酸鹽（ferrite，氧化物磁心材料）、陶質工具（ceramic）、SAP 等的場合、用粉末原料作成原子爐用材、陶性合金（cermet）的場合都列入粉末冶金法中。

粉末冶金法有融解法所得不到或不易得到的獨特優點，以往用融解法作成的製品有時也改用此方法，特別是大量生產的製品，有時品質和價格甚優於鑄造品、鍛造品、切削加工品，使得粉末冶金法的應用分野日漸擴展。

以粉末冶金法製作緻密質的構成零件時，將壓縮成形的壓粉體（green compact，JIS是指將粉末裝入壓模，在常溫壓縮成形的未燒結品）燒結，可得與融解法所得金屬同等的機械性、物理性質，不過，有時須將燒結品進一步加壓及燒結、熱處理等，以改善品質，此項追加加壓，有時在室溫，有時在高溫；熱處理溫度當然須選不會局部熔化而崩形的適當溫度。

粉末冶金法所得的金屬組織比起融解法所得者，粒度頗有差異，特別是粒界的不純物有差別，但基本上相同，共晶、固溶體、相的變態等也與融解法所得者同樣存在；由Fe粉和C粉末冶金法所得的製品若為鋼的成分，當然也會淬火硬化；燒結作成的鐵製品也可施行滲碳、氮化等。

粉末冶金製品的種類非常多，若依歷史順序敘述，起自W時高融點金屬及其合金製品，W，Mo，Ta 當作電燈及電子工業用材料而用於燈絲、屏極等，也可用為電接點；其次為碳化鎢（WC）、碳化鈦（TiC）、碳化鉭（TaC），它們用Co，Ni 等為結合劑，當成超硬合金而用於切削工具，耐摩耗工具的車刀、銑刀、模具等，圖1-1(A)、



圖1-1 (A)超硬合金工具銑刀類及micron滾齒輪（東芝 tungalloy（株））

(B)為其製品例；這些高融點金屬或合金中也有有用的超耐熱材料；所以這些超硬熱材料中有時以噴槍（spray gun）、高溫電離氣噴槍（

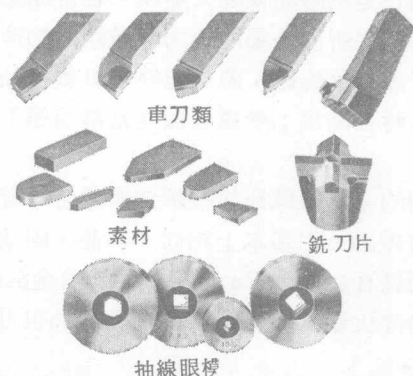


圖1-1 (B)超硬工具車刀、眼模、銑刀片素材（東京 tungalloy（株））

plasma jet gun) 等熔射粉末，用於火箭噴嘴等，達成耐熱目的。

Cu 合金、不銹鋼、Ni 等多孔質材料用於燒結含油軸承、燒結金屬濾器、紡織環錠等；圖 1-2 為含油軸承數例；Fe 及 Fe 合金、Cu 合金作成燒結構成零件，而用於汽車的小零件及其他各種機械用小零件，漸取代以往用切削加工品、鍛造品、鑄造品的分野，圖 1-3 為其應用製品。

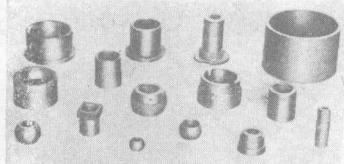
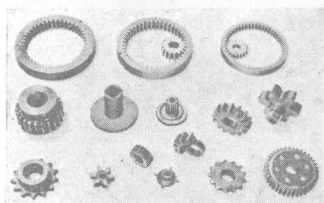
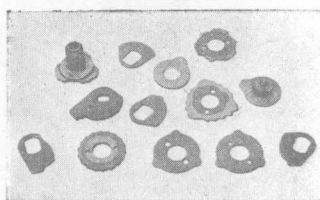


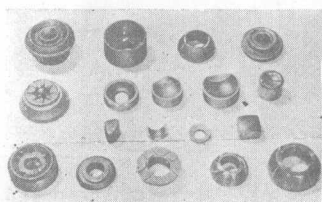
圖 1-2 含油軸承（東京燒結金屬（株））



(a) 鏈輪齒輪



(b) 凸輪



(c) 緩衝裝置，掌舵裝置零件

圖 1-3 燒結機械部品（東京燒結金屬（株））

最近，燒結機械零件更嚴求強度，因而研究用特殊銅粉的燒結機械零件，改良以往的粉末冶金法而開發燒結鍛造法（preform forging），此法的製品密度為 100%，亦即作成實質上無間隙的製品，因而其強度優於鑄鍛造品，強度優良的理由是比起鑄鍛造品、燒結鍛造品的組織結晶粒細，粒界的不純物少；而且不必切削加工，從粉末作成製品，發揮粉末冶金法的經濟性，特別適於形狀複雜品的大量生產。

最近隨著電子工業的突飛猛進，稱為 Ferrite 的氧化物磁性材料急激發達，此種磁性材料有稱為硬質 Ferrite 的永久磁鐵、稱為軟質 Ferrite 而抗磁力非常小者、磁滯曲線成角形者等，除了氧化物磁性材料之外，用金屬粉末合金粉的燒結磁性材料也可用於同一用途，用 Alnico

(鋁鎳鈷合金) 粉的燒結永久磁鐵、或用純鐵粉的極件 (pole piece) 等屬此，圖 1-4 為 Ferrite 製品例。

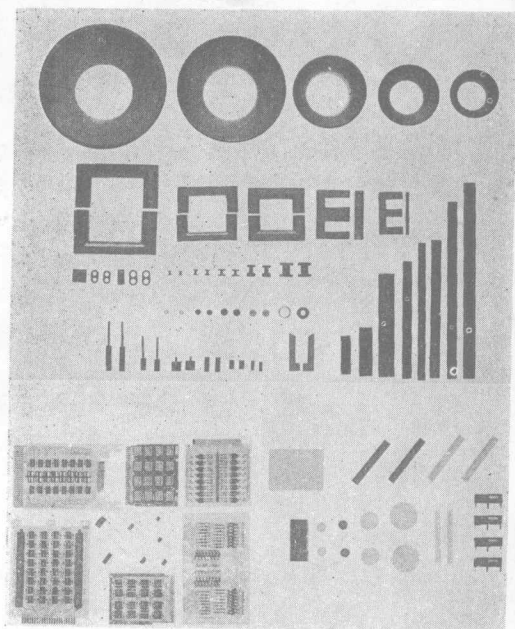


圖 1-4 Ferrite 應用品 (富士電機化學 (株))

(上) 電視、收音機用心，(下左) 脈衝變量器 = 極體 transmatrix

(下右) 壓電素子

各種汽車——特別是重荷重汽車離合器等的摩擦板漸廣用粉末冶金製品，圖 1-5 為其應用例；電車用集電器的集電子板、發電機、電動機等的電刷也盛用粉末冶金製品。

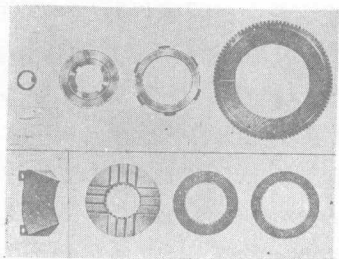


圖 1-5 燒結摩擦板 (東芝 tungalloy (株))

將 Al 粉表面氧化，用粉末冶金法作成強力鋁材料 SAP，因而受重

視的分散強化型合金也是一種粉末冶金製品，漸有新製品用為耐熱材料，其一為T·D鎳，這是使少量氧化鈦超微粉均勻分量於Ni者，高溫強度優於目前所有的Ni基耐熱材料。

以氧化鈾為主的原子爐，用材也利用粉末冶金法；金屬粉不只用為燒結製品，也常在粉末狀態使用，例如顏料、催化劑、熔接、熔斷等，也用不少金屬粉。

1.2 粉末冶金法的製造工程

圖1-6簡單例示粉末冶金法的製造工程。

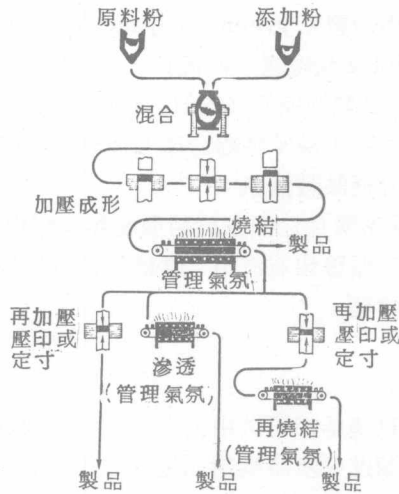


圖1-6 粉末冶金製造工程圖

1.2.1 混合

粉末冶金法用的原料粉有時為1種類，有時為數種類，即使為1種類，為了使粒度的分佈達特定值，有時須將數種粒度不同的粉末均勻混合，此種同種類的金屬粉而混合不同粒度者稱為 **blending**；數種異種金屬粉或金屬粉與非金屬粉均勻混合者稱為 **mixing**。

1.2.2 加壓成形

均勻混合的粉末通常將一定量（體積或重量）裝入精密的壓模，藉

壓機壓縮成所需形狀與大小。

壓模的要素有模體 (diebody , 保持粉末而作成製品外形) 、上衝頭 (upper punch , 從上方對粉末加壓力) 、下衝頭 (lower punch , 從下方對粉末加壓力) 、心棒 (core rod) 用於製品需要上下貫通孔的場合) ; 壓機有機械性壓機、水壓機及組合兩者的壓機。

加壓力約 $1.0 \sim 16 \text{ t/cm}^2$, 有時在高溫加壓, 此時有時只需數 10 kg/cm^2 的壓力。

1.2.3 燒結

被加壓成形的壓粉體 (green compact) 通過保持主成分熔點約 $2/3$ 的溫度的管理保護氣體爐中而燒結。

保護氣氛用 H_2 之類的還原氣、 $\text{H}_2 + \text{N}_2$ 之中性氣, 天然瓦斯或真空; 製作鋼零件時, 爲了將給合碳 (作成雪明碳鐵的碳) 確保成所需量, 須十分注意管理保護氣氛。

燒結有時像 Fe 系零件之類在燒結溫度無液相也會發生, 有時像超硬合金或青銅軸承之類體伴有液相; 當然是後者的場合較易燒結; 燒結時, 壓粉體通常會收縮。

1.2.4 再加壓

大部份的製品只燒結即可供用, 不過, 最近嚴密規定尺寸精度, 或要求高密度製品, 須進一步將燒結品進行定寸 (sizing , 爲了獲得所需尺寸, 燒結體在壓模內的最終壓縮加工) 或壓印 (coining , 爲了使表面形狀明確, 燒結體在壓模內的最終壓縮加工) 等強力再加壓; 通常製品的光製面與模具的光製面同程度, 所以再加壓的話, 可改善製品的光製品、尺寸精度。

1.2.5 滲入

使液狀潤滑劑或其他液狀非金屬物質侵入多孔質燒結製品的孔之事稱爲滲入 (impregnation) , 例如軸承固不待言, 其他很多機械零件也爲了潤滑或耐蝕而滲入油, 後者的目的可用特製的耐蝕性油。