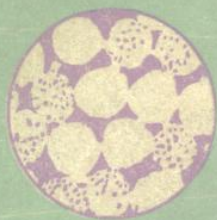


粉末冶金学

〔日〕松山芳治 三谷裕康 铃木寿 著



科学出版社

粉末冶金学

〔日〕松山芳治 三谷裕康 铃木寿 著

周安生 高一平 王颖 等译

高一平 杨勳烈 校

科学出版社

内 容 简 介

本书对粉末冶金进行了较全面的论述。全书共分十四章，对金属粉末制造和特性、粉末混合和压制成型、烧结、测试技术与难熔金属、硬质合金、机械零件、磁性材料、电工材料等粉末冶金制品以及发展历史都作了详细论述。

本书可供从事粉末冶金、机械、陶瓷等方面工作的科技人员及大专院校师生参考。

松山芳治 三谷裕康 铃木寿 著

总
说 粉末冶金学

日刊工业新闻社，1972

粉 末 冶 金 学

〔日〕松山芳治 三谷裕康 铃木寿 著

周安生 高一平 王 颖 等译

高一平 杨勋烈 校

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年4月第一版

开本：787×1092 1/32

1978年4月第一次印刷

印张：14

印数：0001—15,500

字数：316,000

统一书号：15031·167

本社书号：991·15-2

定 价：1.70元

译 者 的 话

近年来，我国粉末冶金事业获得了前所未有的普及和发展。遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，结合当前科研生产和教学的需要，我们翻译了本书。这是一本新近出版的较为全面的有关粉末冶金的综述性著作。书中对粉末冶金工艺、测试技术、各类制品以及发展历史都作了详细论述。

毛主席教导我们：“外国一切好的经验，好的科学技术，我们都要吸收过来，为我们所用”。“当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。”我们对原书中较明显的错误论点作了必要的删节，并对书中出现的技术上的错误以及排印方面的错误作了订正。

刘祚新、邵达真等同志参加了部分翻译工作。原书中没有热等静压技术方面的内容，中译本补充了这方面的材料，作为附录放在书末，这一部分由杨勳烈同志编写。

由于我们的水平所限，译文中难免有错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

序 言

从近代粉末冶金诞生以来,已有六十余年,而从铁基、铜基烧结零件实用以来也已十多年了,在工业界对粉末冶金的评价和关心大为提高的今天,出版有关粉末冶金的论著确实是非常适时的。

当前,有关粉末冶金的知识,不仅对从事粉末冶金的技术人员及生产部门,而且对使用粉末冶金制品部门的人员,也都是极为必要的。本书就是从上述观点出发而写成的。在阐述其内容时,着重于尽量以通俗语言来说明高深的理论,并且对最新发展起来的原理及技术也都尽力加以收集。因此,对学习粉末冶金的学生、研究人员及技术工作者谅也都是很适合的。

作为一本概论,本书内容首先从粉末冶金的定义开始,介绍了一般制造工艺及其优缺点,还说明了金属粉末的一般制造方法及其特性、粉末混合及压制成型等。

烧结是粉末冶金工艺的基础,因此,本书以此为重点,用了相当多篇幅详细论述烧结现象及其机理,还介绍了粉末及压坯、烧结制品各种性能的测定方法。后半部分别介绍粉末冶金制品,从难熔金属材料开始,对硬质合金、金属陶瓷、铁基及铜基烧结机械零件等,都分别从原料到制造方法、特性及其用途等,在篇幅许可范围内作了详细的论述。

用本书作为教科书时,希望按照教学时数,对各章进行适当的取舍。

松山芳治

1972年4月

目 录

第一章 粉末冶金概论	1
1.1 序言	1
1.2 粉末冶金法的生产过程	6
1.2.1 混合	8
1.2.2 压制成型	8
1.2.3 烧结	8
1.2.4 再加压	9
1.2.5 浸渍	9
1.2.6 熔渗	9
1.2.7 其他处理	10
1.3 粉末冶金法的优缺点	10
1.3.1 粉末冶金法的优点	10
1.3.2 粉末冶金法的缺点	12
1.3.3 粉末冶金法的应用	15
第二章 金属粉末	17
2.1 金属粉末的生产	17
2.2 金属粉末制取方法	19
2.2.1 捣磨法	20
2.2.2 球磨法	20
2.2.3 切剥磨法	21
2.2.4 涡旋磨法	22
2.2.5 超细粉碎法	23
2.2.6 雾化法	24
2.2.7 冷凝法	24
2.2.8 热分解法	25
2.2.9 还原法	25

2.2.10	沉淀法	25
2.2.11	置换法	26
2.2.12	电解法	26
2.2.13	合金分解法	27
2.2.14	有机溶媒法	27
第三章	粉末的特性	29
3.1	粉末的粒度、分布及形状	29
3.1.1	粒度	29
3.1.2	粒度分布	30
3.1.3	粒子形状和结构	31
3.2	粉末的密度	33
3.3	流动性	34
3.4	成型性与压制性	35
3.5	粉末中含有的杂质	35
第四章	粉末的混合	38
4.1	混合状态的检验	39
4.2	混合目的	41
4.2.1	合金成分的混合	41
4.2.2	互不相熔成分的混合	41
4.2.3	为调整孔隙度而混入非金属粉	42
4.2.4	添加粘结剂	42
4.2.5	添加润滑剂	43
4.3	混合机	43
第五章	粉末的压制成型	46
5.1	压制与粉末	46
5.1.1	粉末的压制	46
5.1.2	压制方向与压坯密度	46
5.1.3	多断面体的压制	48
5.1.4	曲面压坯的压制	49
5.2	压制成型方法	52
5.2.1	压力机法	52
5.2.2	离心力成型法	54

5.2.3	挤压法	55
5.2.4	水静压法	56
5.2.5	热压法	57
5.2.6	直接由金属粉末连续制成带材的方法	61
5.2.7	粉浆浇注法	62
5.2.8	高能成型法	63
第六章	粉末冶金的历史	67
6.1	粉末冶金的初期	67
6.2	粉末冶金法的后期	71
6.3	近代粉末冶金	76
6.3.1	理论研究	77
6.3.2	难熔金属以及硬质合金	79
6.3.3	烧结含油轴承以及集电材料	83
6.3.4	磁性材料	83
6.3.5	烧结机械零件	86
6.3.6	高温材料	92
6.3.7	日本粉末冶金的历史	94
6.4	粉末冶金最近的趋势和未来	101
6.4.1	硬质合金以及金属陶瓷材料	104
6.4.2	铁氧体	109
6.4.3	弥散强化型材料	110
6.4.4	高强度烧结零件	112
6.4.5	铝烧结制品	113
6.4.6	高精度一般烧结机械零件	114
6.4.7	制造方法	118
第七章	烧结现象与烧结机理	127
7.1	烧结动力学	128
7.2	单元系金属粉末的固相烧结现象	131
7.2.1	烧结开始温度的影响	131
7.2.2	烧结体的各种性能变化	135
7.3	单元系金属粉末的固相烧结机理	146
7.3.1	粒子的粘接机理	148

7.3.2 致密化机理	160
7.4 多元系的固相烧结机理	166
7.5 液相存在下的烧结现象及烧结机理	171
7.5.1 固相在液相中没有溶解度的情况	171
7.5.2 固相在液相中具有溶解度的情况	173
7.6 热压致密化机理	182
第八章 烧结技术	192
8.1 烧结炉	192
8.2 烧结气氛	196
8.3 特殊烧结法	201
8.3.1 活化烧结法	202
8.3.2 熔渗法	204
8.4 烧结体的性质	205
8.4.1 性能的表达法	206
8.4.2 烧结体的尺寸精度	208
8.5 烧结后的处理	209
8.5.1 普通处理	209
8.5.2 烧结锻造法	211
第九章 粉末及烧结制品各种性能的测定	213
9.1 粉末及压坯各种性能的测定	213
9.1.1 筛分法	214
9.1.2 显微镜法	218
9.1.3 沉降法	219
9.1.4 沉降法的种类	221
9.1.5 透过法测定粒度	227
9.1.6 布莱恩(Blaine)法测定粒度	228
9.1.7 粉末其他特性的测定方法	230
9.2 烧结制品各种性能测定	239
9.2.1 烧结密度测定	240
9.2.2 孔隙度的测定	242
9.2.3 有效孔隙度的测定	243
9.2.4 硬度	245
9.2.5 烧结制品机械性能的测定方法	249

第十章 难熔金属材料	259
10.1 钨及其合金	260
10.1.1 W 粉的制备	260
10.1.2 W 粉的烧结	264
10.1.3 W 烧结件的加工	265
10.1.4 W 的性能	268
10.1.5 W 的用途	272
10.1.6 W 合金	273
10.2 钼及其合金	277
10.2.1 Mo 粉的制备	277
10.2.2 Mo 粉的烧结	279
10.2.3 Mo 烧结件的加工	279
10.2.4 Mo 的性质	280
10.2.5 Mo 的用途	281
10.2.6 Mo 合金	281
第十一章 硬质合金及金属陶瓷工具	283
11.1 碳化物	284
11.1.1 单元系碳化物	284
11.1.2 多元系碳化物	285
11.2 WC 基硬质合金	288
11.2.1 WC 基硬质合金的制造	288
11.2.2 WC-Co 合金的性能	290
11.2.3 WC-TiC-Co 合金的性能	307
11.2.4 WC-TiC-TaC-Co 合金的性能	314
11.2.5 WC 基硬质合金的用途	318
11.3 TiC 基金属陶瓷工具	319
11.3.1 TiC 基金属陶瓷工具的制造	319
11.3.2 TiC 基金属陶瓷工具的性能和用途	321
11.4 Al_2O_3 基陶瓷工具	323
11.5 金刚石复合合金	323
第十二章 烧结机械零件	328
12.1 铁基烧结机械零件	328

12.1.1	原料铁粉	328
12.1.2	烧结铁	329
12.1.3	烧结碳素钢	331
12.1.4	Fe-Cu 基烧结合金	338
12.1.5	烧结合金钢	348
12.1.6	铁基烧结机械零件的用途	360
12.2	非铁基烧结机械零件	361
12.2.1	烧结铜合金	361
12.2.2	烧结铝合金	373
12.2.3	其他非铁合金	378
第十三章 铁氧体		385
13.1	铁氧体的磁性	385
13.2	铁氧体的沿革	390
13.3	铁氧体的原料	390
13.4	铁氧体的烧成	392
13.4.1	煅烧	392
13.4.2	成型	393
13.4.3	烧成	393
13.5	铁氧体的性质和用途	394
13.5.1	软磁性铁氧体	394
13.5.2	硬磁性铁氧体	402
13.5.3	特殊磁性铁氧体	408
第十四章 电气接点及集电器		416
14.1	电气接点	416
14.1.1	电气接点用烧结合金的制造	417
14.1.2	电气接点用烧结合金的性能	418
14.1.3	电气接点用烧结合金的用途	419
14.2	集电器	419
14.2.1	电气用电刷	419
14.2.2	集电用滑板	421
附录 热等静压技术		424

第一章 粉末冶金概论

1.1 序 言

粉末冶金一词的定义在日本工业标准 JIS Z 2500 中已有规定,概括地说来,就是制取金属或合金粉末,并将这些粉末装入模具里压制成型(也有不加压的),然后在低于熔点的温度下(当包含数种金属粉末时产生局部熔化)烧结固化,即烧结成金属制品或金属坯的制造工艺。有时加压和加热同时进行,称为热压。在这些金属粉末中有时也含有各种金属间化合物粉末。最近,处理金属氧化物,例如氧化铁、氧化铝及氧化铈等粉末,制成所谓铁氧体、陶瓷刀具及烧结铝制品等,以及在制造金属陶瓷和反应堆用材料时粉末原料处理,都列为粉末冶金工艺的范围。

粉末冶金工艺能制造熔炼法所得不到的或难以得到而具有独特优点的制品,因此,这种方法得到了发展。但通常用熔炼法制造的制品也能用这种方法制造,特别是需要大量生产时,从质量和价格考虑,比铸件,锻件及切削加工件都非常有利,因此,粉末冶金工艺的应用范围正在日益扩大。

用粉末冶金工艺制造致密的结构零件时,将压制成型的压坯*进行烧结,能获得用熔炼法制取的金属相同的机械物理性能。为此,往往将烧结件再进一步加压和烧结或进行热处理等,以提高其质量。这种再加压是在室温下进行,也有在高温下进行的。其热处理温度当然应该适当选择,使其一部分

* 压坯: JIS 规定将粉末装入压模在室温压制成型而未烧结的坯。

能够熔化,但不会出现变形为宜。

粉末冶金法所得到的金相组织,与用熔炼法所得到的相比,其晶粒度大小有相当的差异,特别是晶界夹杂有差别。然而,相同点是,也存在共晶、固熔体、相变等。以铁粉和碳粉为原料,用粉末冶金工艺生产的制品,如系钢成分的,当然会起淬火硬化作用。另外,经烧结制成的铁制品,也可进行渗碳及氮化等处理。

粉末冶金制品种类繁多,按其发展历史的次序叙述,首先是由 W 开始的难熔金属及其合金制品;W、Mo、Ta 是电灯泡及电子工业用材料,用来制作灯丝、阳极板等、也用来作电接



图 1.1(A) 硬质合金工具铣刀类及小模数滚刀

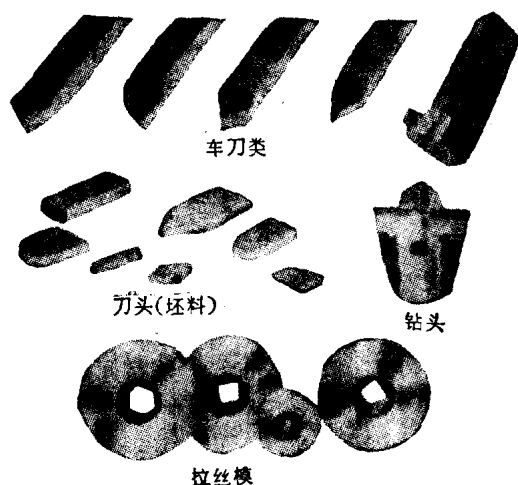


图 1.1(B) 硬质合金工具车刀、模具、钻头、刀头

点。其次是碳化钨(WC)、碳化钛(TiC)、碳化钽(TaC)，这些都用 Co, Ni 等作为粘结剂来制造硬质合金，可用于制造切削刀具和耐磨刀具中的钻头、车刀、铣刀和模具等。图 1.1(A), (B) 表示其应用制品。这些难熔金属或合金中，有的可以作为高温材料使用。这些高温材料的粉末可用喷射电子枪或等离子喷枪等进行熔喷，用于制造耐高温的火箭喷嘴等。

Cu 合金，不锈钢及 Ni 等的多孔材料，可用于制作烧结含油轴承、烧结金属过滤器及纺织环等。图 1.2 列出含油轴承的实例。Fe, Fe 合金和铜合金的烧结结构零件，多用于汽车等各种机械用小零件方面，以前用切削加工、锻造、铸造所加工的零件，正在逐渐广泛地使用粉末冶金工艺制造。图 1.3 列出其应用制品。

最近，对烧结机械零件已提出更加苛刻的强度要求，发展了用特殊钢粉烧结机械零件的工艺，因此已改进了以前的粉

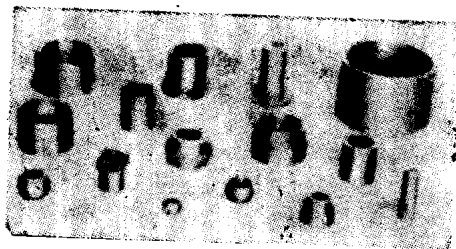
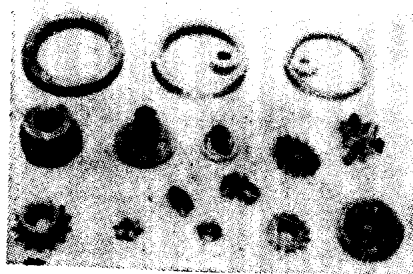


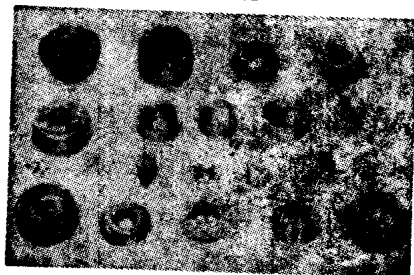
图 1.2 含油轴承



(a) 链系齿轮组



(b) 凸轮



(c) 缓冲装置, 转向机构零件

图 1.3 烧结机械零件

末冶金工艺，发展了一种叫做烧结锻造*（预型锻造）的方法。用这种方法生产出的制品密度能达到100%，实质上已制成无孔隙的制品，据报道，其强度比铸锻件更加优越。其理由是烧结锻件比铸锻件组织的晶粒度细和晶界夹杂少。并且不经切削加工即可由粉末做成制品，具有粉末冶金法的经济价值，特别适合于生产形状复杂并要求大批生产的制品。

近几年来，在电子工业迅速发展的同时，称为铁氧体的氧化物磁性材料也得到了飞跃发展。利用这种磁性材料，能制成叫做硬质铁氧体的永久磁铁和叫做软质铁氧体的抗磁性非常小的制品，并且能制成磁滞回线呈方形的，以及具有波明伐磁合金特性的各种制品，应用于各个方面。除氧化物磁性材料之外，使用金属粉或合金粉制成的烧结磁性材料，当然也可以利用。用铝铁镍钴磁合金粉烧结制成的永久磁铁和用纯铁粉制成的极片等，都属于这一类。图1.4表示铁氧体制品的几种零件。

各种汽车，特别是在重型载重汽车离合器等的摩擦片上都正在广泛地使用粉末冶金制品。图1.5系其应用实例。并且，在电车用的导电弓架的集电器滑板及发电机与电动机等的电刷上亦盛行使用粉末冶金制品。

将铝粉表面氧化后，用粉末冶金法制成了高强度铝材料的烧结铝(SAP)，由于这一发明，制成了特制的所谓弥散强化型合金，这也是一项粉末冶金制品，高温材料的新制品正不断出现。其一是T·D镍。这是使少量氧化钽超细粉末均匀地弥散在Ni上，其高温强度几乎都比现有的Ni基高温合金优越。

在以氧化铀为主的反应堆材料上，也有用粉末冶金法制

* Preform forging: Iron Age Metalworking International, July(1970)
p. 18

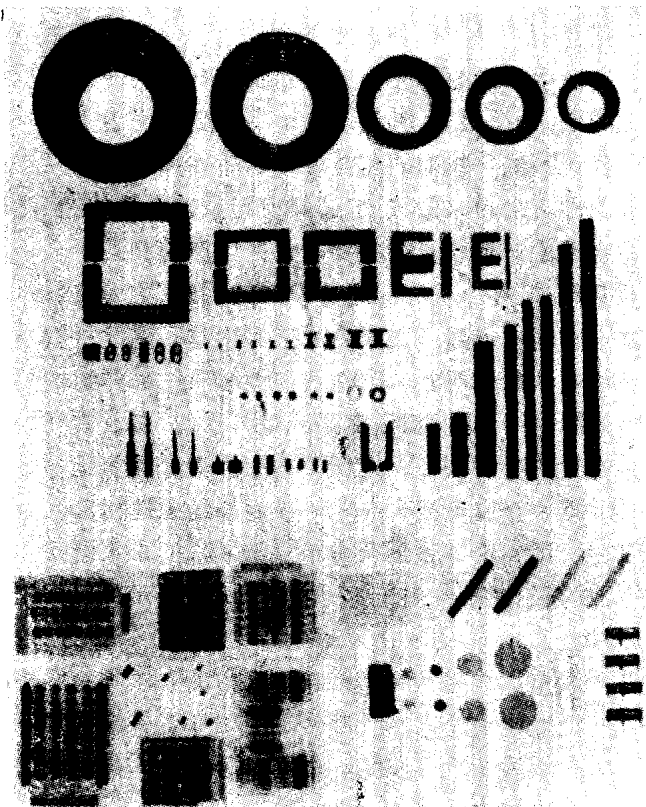


图 1.4 铁氧体的应用产品

(上)电视、无线电用磁芯;(下左)脉冲变压器型模、二极管变压器基体;
(下右)压电元件

做的。还有相当一部分金属粉末,不烧结成制品,而以粉末形态来使用,例如在颜料、催化剂、焊接和熔断等方面也都使用相当数量的金属粉末。

1.2 粉末冶金法的生产过程

粉末冶金法生产过程的简单示意图如图 1.6 所示。