

高等学校教材

粉末冶金基础教程

——基本原理与应用

中国机械通用
零部件工业协会 粉末冶金专业协会 组编
韩凤麟 主编

华南理工大学出版社

高等学校教材

粉末冶金基础教程

——基本原理与应用

中国机械通用
零部件工业协会

粉末冶金专业协会 组编

韩凤麟 主编

华南理工大学出版社
·广州·

内 容 简 介

本书以美国金属学会所属“材料工程学院”编写的《粉末冶金原理与应用》自学教材为蓝本编写。书中对粉末冶金的原理、生产工艺、生产设备及主要工业产品的生产、性能及应用都进行了全面扼要的阐述。

本书可作为高等学校材料科学与工程专业“粉末冶金”课程的教材与主要参考书,也可作为有一定冶金知识基础的工程技术人员的参考书。另外,对于任何一位想从事粉末冶金工作和想学习粉末冶金知识的人,都是一本难得的入门教材。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金基础教程——基本原理与应用/韩凤麟主编.—广州:华南理工大学出版社,2005.7(2006.6重印)

ISBN 7-5623-2209-0

I. 粉… II. 韩… III. 粉末冶金-教材 IV. TF12

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第066400号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

发行部电话:020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn <http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑:赵鑫

印刷者:佛山市浩文彩色印刷有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:499千

版次:2006年6月第1版第2次印刷

印数:3001~4000册

定价:50.00元

版权所有 盗版必究

序

粉末冶金,顾名思义,是一门特种冶金技术。粉末冶金是一种制造高、新技术材料的重要工艺,有时甚至是惟一的方法。从20世纪20年代烧结金属含油轴承出现以来,随着汽车产业的发展,粉末冶金将材料制备与金属成形技术相结合,逐渐形成了一门制造机、电零件的,精密、高效、低耗、节能、价廉的特种金属成形技术,并在汽车、摩托车、家电、办公机械、农机、工程机械、电动工具等领域得到了广泛应用。

我国改革开放以来,随着家电、办公机械、电动工具等产业的发展,特别是进入21世纪后,由于汽车产业的突飞猛进,粉末冶金产业如雨后春笋般蓬勃发展。据不完全统计,1991—2004年13年间,我国粉末冶金零件产量增长了7.3倍,2004年产量达到了62 668t(据34个单位统计)。平均年递增率为17.5%。

为适应全球经济一体化需要,我国现有粉末冶金产业的各级管理与技术人员需要强化技术培训,增强企业的市场竞争能力。我国高等理工院校,不管是材料加工专业,还是机械或机电工程专业,都有必要开设粉末冶金方面的课程,普及粉末冶金知识,开阔学生视野,从而为加速我国粉末冶金产业的发展和拓宽粉末冶金技术的应用提供知识、技术和人才支持。

基于上述目的,由中国机械通用零部件工业协会粉末冶金专业协会组织,韩凤麟教授等编写了这本《粉末冶金基础教程——基本原理与应用》。这本书深入浅出、简明扼要,对于非粉末冶金专业出身而想了解、学习粉末冶金原理与应用的人员,的确是一部值得推荐的粉末冶金入门教材。对于高等学校材料科学与工程专业的教师和学生,也不失为一部很好的参考书。

华南理工大学

李元元

2005年5月16日

前 言

随着我国汽车工业的高速发展,粉末冶金技术日益受到广泛关注,广大的工程技术人员迫切需要学习粉末冶金技术;同时,鉴于粉末冶金技术近30年来日新月异的发展,我国粉末冶金行业的工程技术人员更迫切需要知识更新。为此,中国机械通用零部件工业协会粉末冶金专业协会组织编写了本教材。

本教材是以美国著名的粉末冶金学家 F. V. Lenel 教授为美国金属学会所属“材料工程学院”编写的自学教材《粉末冶金原理与应用》为蓝本编写的。全书共分15章,深入浅出地、扼要地讲述了粉末冶金生产工艺和工业上已大量生产、应用的主要粉末冶金产品,既可作为高等学校材料工程专业“粉末冶金”课程的教材或参考书,也适用于有一定冶金知识基础的人员自学。为便于读者深入理解粉末冶金工艺的原理,第2章全面扼要地介绍了与粉末冶金相关的物理冶金(即金属学)的基本知识。本书的最大特点是:简明扼要,理论联系实际,技术与经济并重。

本书分为15章,每章约2个学时,共30个学时。通过学习这本教材,基本上能了解粉末冶金的基本工艺,生产设备,工业上主要粉末冶金产品的生产、性能及应用。

参加本书编写工作的有韩凤麟(第1、3、12、14章),中国科学院金属研究所王崇琳研究员(第2章),北京科技大学果世驹教授(第8、9、10章)、贾成厂教授(第11、13、15章)、林涛副教授(第4、5、6、7章)。全书由韩凤麟审定。

本书的问世,不但要感谢中国机械通用零部件工业协会粉末冶金专业协会为组织、编写这本教材付出的辛勤劳动;感谢参加编写工作的各位教授、专家的大力支持;感谢华南理工大学校长李元元教授对出版这本教材给予的关怀与大力支持;还应特别感谢 QMP(苏州)有限公司郭瑞金博士为编写这本教材提供了难得的珍贵资料。

书中疏漏、不当及错误之处,敬请读者指正。

韩凤麟

2004年10月4日

目 录

第 1 章 粉末冶金生产工艺与制品概论	(1)
1.1 金属粉末生产和粉末冶金制品生产工艺	(1)
1.2 粉末冶金应用	(6)
1.3 难熔金属与活性金属.....	(15)
1.4 近期粉末冶金的进展.....	(16)
1.5 第 2~15 章提要.....	(17)
本章小结	(18)
第 2 章 物理冶金基础	(19)
2.1 晶体结构.....	(19)
2.2 完整晶体中的缺陷.....	(24)
2.3 化学平衡.....	(28)
2.4 相平衡和相图.....	(32)
2.5 金属和合金中的扩散.....	(36)
2.6 材料的力学和物理性能.....	(38)
2.7 材料强化途径.....	(42)
2.8 钢的热处理.....	(47)
2.9 快速凝固非平衡材料.....	(51)
本章小结	(53)
第 3 章 粉末生产	(55)
3.1 液态金属雾化.....	(55)
3.2 用化学反应法制取金属粉末.....	(61)
3.3 电解沉积.....	(65)
3.4 固态材料机械粉碎法.....	(66)
本章小结	(66)
第 4 章 粉末特性 I	(68)
4.1 颗粒形状.....	(68)
4.2 粉末粒度与粒度分布.....	(70)
4.3 粉末的比表面.....	(73)
4.4 测量粉末粒度与比表面的方法.....	(74)
本章小结	(78)
第 5 章 粉末特性 II	(80)
5.1 粉末的取样.....	(80)
5.2 化学成分.....	(81)
5.3 粉末颗粒的组织.....	(82)

5.4	金属粉末的松装密度与流动性	(85)
5.5	金属粉末的振实密度	(87)
5.6	压缩性、生坯密度及压缩比	(88)
5.7	铁粉和铜粉的特性	(90)
5.8	自燃性、爆炸性及毒性	(91)
	本章小结	(93)
第6章	压制 I	(95)
6.1	混合	(95)
6.2	润滑	(96)
6.3	金属粉末在压力作用下的性状	(97)
6.4	密度分布	(98)
6.5	生坯强度	(99)
6.6	压坯内的应力分布	(101)
6.7	压坯缺陷	(101)
6.8	成形模具的零件	(102)
6.9	压机	(107)
6.10	模具零件的结构和间隙	(109)
	本章小结	(110)
第7章	压制 II	(111)
7.1	冷等静压	(111)
7.2	高能高速成形和三轴向压制	(114)
7.3	注射成形	(115)
7.4	混有增塑剂的金属粉末的挤压	(118)
7.5	金属粉末轧制	(118)
7.6	过滤器	(121)
7.7	粉浆浇注	(122)
	本章小结	(122)
第8章	烧结工艺与基本原理	(124)
8.1	烧结工艺的基本类型	(124)
8.2	烧结过程	(125)
8.3	烧结的基本理论	(131)
8.4	合金的烧结	(135)
	本章小结	(138)
第9章	烧结炉与烧结气氛	(139)
9.1	带有保护气氛的连续炉	(139)
9.2	带有保护气氛的间歇式炉	(143)
9.3	真空烧结炉	(144)
9.4	烧结炉的温度控制	(144)
9.5	烧结气氛	(145)

9.6 烧结气氛与压坯的反应	(148)
本章小结	(153)
第 10 章 液相烧结	(154)
10.1 基本概念	(154)
10.2 液相烧结的显著致密化过程	(156)
10.3 烧结硬质合金的生产工艺	(159)
10.4 具有可控孔隙度压坯的液相烧结	(164)
10.5 超固相线烧结	(165)
10.6 熔渗	(166)
10.7 活化烧结	(167)
本章小结	(168)
第 11 章 多孔性材料	(169)
11.1 孔隙度的表征	(169)
11.2 产品、生产工艺及性能	(175)
本章小结	(179)
第 12 章 粉末冶金结构零件	(180)
12.1 结构零件设计	(181)
12.2 粉末冶金结构零件的切削加工	(190)
12.3 粉末冶金零件材料密度的影响	(192)
12.4 热膨胀系数与断裂韧度	(192)
12.5 化学组成与力学性能	(193)
12.6 粉末冶金结构零件材料技术规范	(201)
本章小结	(216)
第 13 章 金属粉末的热固结	(217)
13.1 热压	(218)
13.2 热挤压	(218)
13.3 热等静压	(221)
13.4 放电等离子体烧结	(224)
13.5 结构零件的粉末锻造	(225)
本章小结	(231)
第 14 章 快速凝固与弥散强化合金	(232)
14.1 快速凝固工艺	(232)
14.2 弥散强化合金	(233)
14.3 粉末冶金铝合金	(235)
14.4 粉末冶金高温合金	(239)
14.5 粉末冶金工具钢	(242)
14.6 弥散强化铜	(243)
本章小结	(244)

第 15 章 粉末冶金的其他应用	(246)
15.1 难熔金属	(246)
15.2 粉末冶金电触头材料	(251)
15.3 金属黏结金刚石工具材料	(253)
15.4 烧结金属摩擦材料	(254)
15.5 粉末冶金磁性材料	(255)
本章小结	(260)
附录一 烧结金属材料—规范 GB/T 19076—2003	(261)
附录 A(规范性附录) 标识系统	(262)
附录 B(资料性附录) 显微组织	(264)
附录二 计量单位表	(277)
附录三 常用工程数据与资料	(285)
附录四 元素周期表	(290)
附录五 《粉末冶金术语》标准	(291)
附录六 粉末冶金书架	(308)
参考文献	(311)

第 1 章 粉末冶金生产工艺与制品概论

一般金属与合金制品的生产,其原材料皆始于铸件。铸件的形状可能和制品相似,也可能是铸锭,之后,再经轧、锻、挤、拉或类似工艺成形为制造的产品。通常,将这种常规的金属生产方法叫做“铸锭冶金”。

另外一种制作金属制品的方法,是以颗粒状金属,即金属粉末为原料,像生产陶瓷制品一样,经成形、烧结制造成金属制品。这就是所谓的“粉末冶金”。鉴于粉末冶金的生产过程和陶瓷完全一样,因此,20 世纪初,有人曾将粉末冶金叫做“金属陶制术”,即“利用制造陶瓷的工艺制作金属制品”。这仅只说明粉末冶金制品与陶瓷的生产工艺过程相似。

现在,粉末冶金的定义是,“制造金属粉末和利用金属粉末为基本原料制造金属材料与异形制品的工艺与技术”。

因此,粉末冶金为设计人员生产特殊形状制品提供了另外一种可选择的生产工艺。在许多场合,以粉末冶金工艺替代常规生产工艺,诸如铸造一切削加工工艺,可改进产品质量或降低生产成本。在另外一些场合,一些金属制品,诸如硬质合金、烧结金属含油轴承,以及一些新颖、奇异的金属制品只能用粉末冶金工艺制作。

本章将介绍金属粉末生产、如何将金属粉末制成金属制品及粉末冶金的重要用途。

本章需要了解和掌握的要点:

- ①知道金属粉末的主要生产方法,了解每种生产方法的原理;
- ②列举出由金属粉末制成金属制品最常使用的生产工艺工序,并对每一工序进行简要说明;
- ③讨论作为生产异形产品竞争方法之一的粉末冶金工艺,在制作具体零件时通常可得到的具体好处;
- ④讨论粉末冶金工艺的局限性,包括制品的大小与重量的限制以及零件材料密度较低的影响;
- ⑤概述近期粉末冶金的发展,其中包括一些用较常规方法不能制作,只能用粉末冶金生产的产品。

1.1 金属粉末生产和粉末冶金制品生产工艺

金属粉末是粉末冶金生产的基本原料,为满足粉末冶金制品生产对金属粉末的各种性能要求,研究开发了各种各样的金属粉末生产方法。表 1-1 给出了金属粉末的生产方法与制得粉末的实例。最常用的金属粉末生产方法,依据在工业生产中的重要性递减的顺序,可以概括为如下几种。

表 1-1 粉末生产方法

生产方法		原材料	粉末产品举例			
			金属粉末	合金粉末	金属化合物粉末	包覆粉末
还原	碳还原	金属氧化物	Fe, W	—	—	—
	气体还原	金属氧化物及盐类	W, Mo, Fe, Ni, Co, Cu	Fe-Mo, W-Re	—	—
	金属热还原	金属氧化物	Ta, Nb, Ti, Zr, Th, U	Cr-Ni	—	—
还原化合	碳化或碳与金属氧化物作用	金属粉末或金属氧化物	—	—	碳化物	—
	硼化或碳化硼法	金属粉末或金属氧化物	—	—	硼化物	—
	硅化或硅与金属氧化物作用	金属粉末或金属氧化物	—	—	硅化物	—
	氮化或氮与金属氧化物作用	金属粉末或金属氧化物	—	—	氮化物	—
气相还原	气相氢还原	气态金属卤化物	W, Mo	Co-W, W-Mo 或 Co-W 涂层石墨	—	W/UC ₂
	气相金属热还原	气态金属卤化物	Ta, Nb, Ti, Zr	—	—	—
化学气相沉积		气态金属卤化物	—	—	碳化物或碳化物涂层	—
			—	—	硼化物或硼化物涂层	—
			—	—	硅化物或硅化钼丝	—
			—	—	氮化物或氮化物涂层	—
气相冷凝或离解	金属蒸气冷凝	气态金属	Zn, Cd	—	—	—
	羰基物热离解	气态金属羰基物	Fe, Ni, Co	Fe-Ni	—	Ni/Al, Ni/SiC
液相沉淀	置换	金属盐溶液	Cu, Sn, Ag	—	—	—
	溶液氢还原	金属盐溶液	Cu, Ni, Co	Ni-Co	—	Ni/Al, Co/WC
	从熔盐中沉淀	金属熔盐	Zr, Be	—	—	—
从辅助金属浴中析出		金属和金属熔体	—	—	碳化物	—
			—	—	硼化物	—
			—	—	硅化物	—
			—	—	氮化物	—

续表 1-1

生产方法		原材料	粉末产品举例				
			金属粉末	合金粉末	金属化合物粉末	包覆粉末	
物理化学法	电解	水溶液电解	金属盐溶液	Fe, Cu, Ni, Ag	Fe-Ni	—	—
		熔盐电解	金属熔盐	Ta, Nb, Ti, Zr, Th, Be	Ta-Nb	碳化物 硼化物 硅化物	—
	电化腐蚀	晶间腐蚀 电腐蚀	不锈钢 任何金属和合金	— 任何金属	不锈钢 任何合金	— —	— —
机械法	机械粉碎	机械研磨	脆性金属和合金	Sb, Cr, Mn 高碳铁	Fe-Al, Fe-Si, Fe-Cr 等铁合金	—	—
			人工增加脆性的金属和合金	Sn, Pb, Ti	—	—	—
		漩涡研磨	金属和合金	Fe, Al	Fe-Ni, 钢	—	—
		冷气流粉碎	金属和合金	Fe	不锈钢, 高温合金	—	—
	雾化	气体雾化	液态金属和合金	Sn, Pb, Al, Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢, 不锈钢	—	—
		水雾化	液态金属和合金	Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢	—	—
		旋转圆盘雾化	液态金属和合金	Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢	—	—
		旋转电极雾化	液态金属和合金	难熔金属, 无氧铜	铝合金, 钛合金, 不锈钢, 高温合金	—	—

1. 液态金属雾化

雾化是用快速流动的气流或液流将熔融金属粉碎成液滴,而后凝固成金属粉末颗粒。图 1-1 给出了瑞典 Höganäs 公司水雾化铁粉的生产工艺流程。图 1-2 所示为水雾化铁粉与还原铁粉颗粒的形貌(SEM)和内部结构(横截面)。

2. 化学反应

用化学反应生产金属粉末的一个例子是用还原介质还原金属氧化物,还原介质可能是固体或气体。图 1-3 给出了瑞典 Höganäs 公司还原铁粉的生产工艺流程。还原铁粉(NC100.24)颗粒的形貌与内部结构(横截面)如图 1-2 所示。用化学反应生产金属粉末的

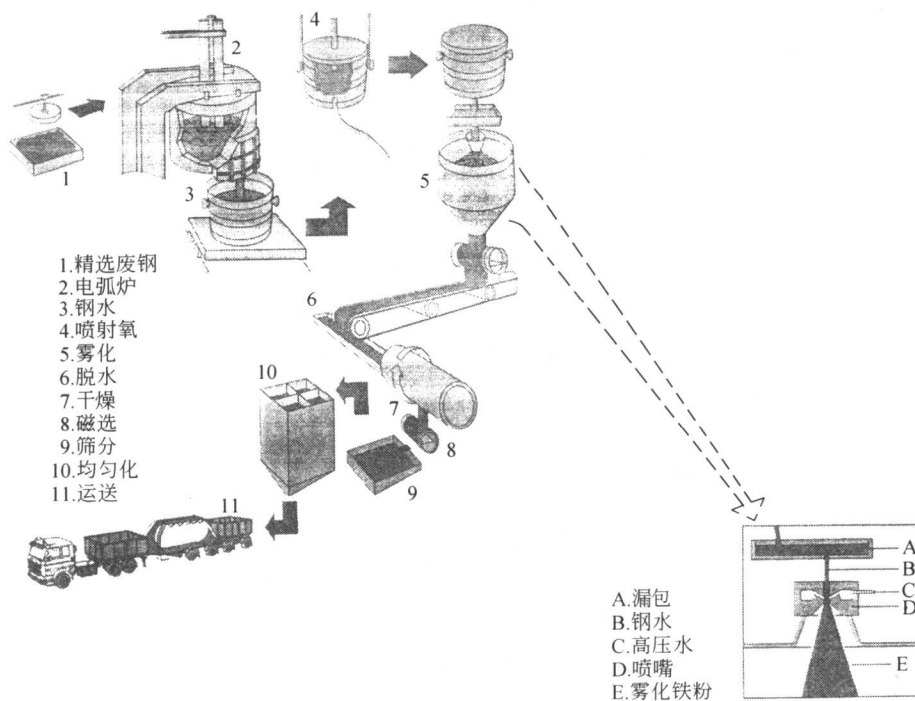


图 1-1 瑞典 Höganäs 公司水雾化铁粉生产工艺流程图

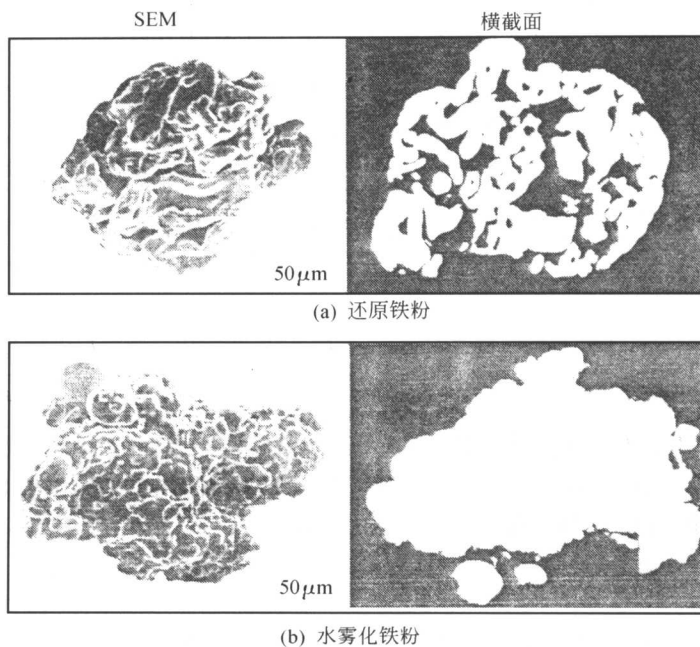


图 1-2 还原铁粉(NC100.24)与水雾化铁粉(ASC100.29)的颗粒形貌(SEM)与内部结构(横截面)

另外一个例子是生产羰基镍粉,这种粉末是通过将镍羰基合物($\text{Ni}(\text{CO})_4$)热分解为镍粉与CO气体制取的。羰基镍粉颗粒的 SEM 照片如图 1-4 所示。

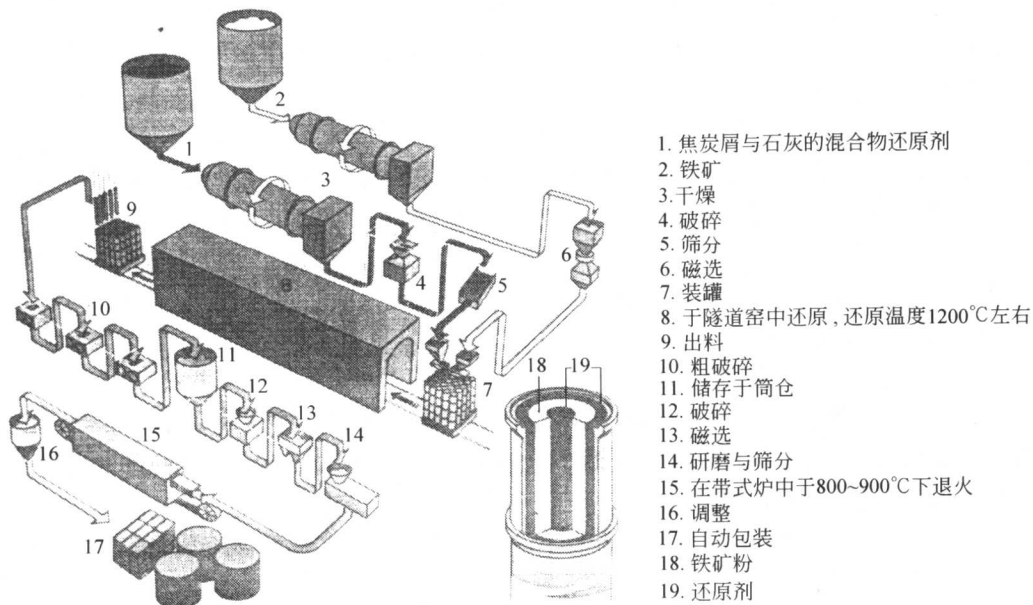


图 1-3 瑞典 Höganas 公司还原铁粉生产工艺流程图

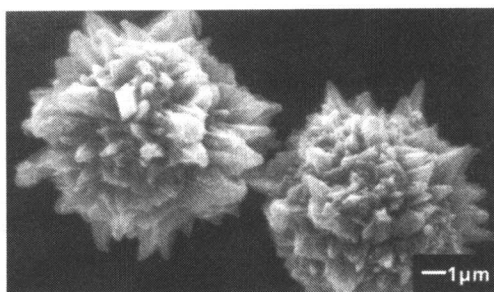


图 1-4 羰基镍粉颗粒的 SEM 照片(123 型、钉状)

3. 电解沉积

在多种金属精炼过程中,都是使金属沉积在电解槽阴极上。通过适当控制沉积条件,可使金属以粉末状或以可研磨成粉末的疏松粉块状沉积。电解铜粉颗粒形状如图 1-5 所示。

4. 固态材料机械粉碎

它们是用诸如锉削、破碎或粉碎之类的加工方法,将固态金属制成粉末。这种方法用得较少。因为当将脆性的固态金属进行机械粉碎时,制成的粉末也是脆性的,比用其他

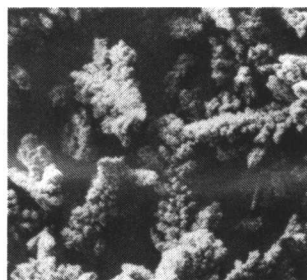


图 1-5 电解铜粉颗粒形状照片(420×)

方法生产的粉末较难制成金属制品。

在将金属粉末制成金属材料或制品的生产过程中,通常采用的工序是:

①筛分/分级。用筛子将粉末筛分成不同粒度范围,然后再依据用途将它们按所需比率进行混合。例如,可选择合适的粒度组成,以有效地填充相互接触颗粒间的孔隙。这有助于冷压制后达到最佳密度。

②混合。在混合工序中,将所需之各种粉末,其中包括基本原料粉末(如铁粉、铜粉等)、用于合金化的金属与非金属粉末(如镍粉、钨粉、石墨粉等)以及压制时起润滑作用的添加剂粉末(如硬脂酸锌等),进行机械混合,以制成无偏析的均匀的混合粉料。

③压制。最常用的金属粉末压制成形方法是,于室温下,用单轴向刚性模具压制成形。压制成形的“生”压坯虽然易碎,但由于粉末颗粒间的机械联结,其强度还是足以使之能从模具中脱出并进行运送的。压坯可能是坯料,也可能其形状与制品相近或相同。坯料在烧结后还需要进一步轧制、锻造、挤压和/或拉伸加工。

④烧结。为赋予生压坯足够高的强度以资应用,生压坯必须进行烧结。烧结一般是在保护气氛或真空中,将压坯加热到高温。烧结时,由于发生固态冶金反应而大大改善原始粉末颗粒间界面的结合,详细情况将在第8章与第10章中讨论。

也可将粉末冶金的压制与烧结作业合并为一个作业,这就是所谓的“热固结”,诸如热压、挤压、锻造及轧制。

1.2 粉末冶金应用

表1-2给出了粉末冶金制品在机电工业中的应用例。

表1-2 机械制造业中的粉末冶金制品

类别	种 别	特 性	应 用 例
机 械 零 件	结构零件	铁、钢、铜合金、铝合金等制造的齿轮及各种受力件	汽车、机床、农机、纺织机、仪表、缝纫机等
	滑动轴承	1. 烧结金属含油轴承 孔隙度为15%~25%的铁基或铜基多孔轴承,孔隙中充满润滑油 2. 钢背烧结轴承 第一层为钢背,第二层为烧结铜铝合金	汽车、机床、飞机、内燃机、皮带运输机、铁路车辆、纺织机、缝纫机、冶金机械等 汽车及各种内燃机的曲轴轴瓦,连杆轴瓦等
	摩擦零件	由钢背与铁基或铜基粉末组合物制成的离合器片或刹车带等	汽车、飞机、坦克、工程机械、机床等动力机械上的摩擦组件
	过滤元件及其他多孔性材料	1. 过滤元件 由球形青铜、镍、铁、不锈钢及其他金属粉末制造的,孔隙均匀分布的,杯状、圆锥状、圆筒状及棒状的制品 2. 汗冷材料 由镍、镍铬合金、不锈钢及其他耐腐蚀材料制造的孔隙率达50%的棒材、带材、筒状制品	化工、机床、飞机、汽车等中用于过滤各种气体与液体,用作射流元件中的多孔金属滤清器 飞行器中用作多孔汗冷元件

续表 1-2

类别	种 别	特 性	应 用 例
机械零件	过滤元件及其他多孔性材料	3. 纤维金属制品 由细金属纤维制造的高孔隙度(达80%)的制品	吸音板,特殊用途的过滤元件
电器零件与材料	电触头	难熔金属(W、Mo等)与银、铜等制成的假合金	点焊机、滚焊机、各种火花仪器与开关设备用的触头
	集电零件	1. 金属-石墨电刷 由银与石墨,或铜(或铜合金)与石墨制成的假合金 2. 烧结合金滑板 用粉末冶金法制造的铁基和铜基合金	各种发电机、电动机等使用的集电电刷 各种电机车、无轨电车的集电滑板
	真空材料	铁、各种难熔金属(W、Mo等)及其合金	真空器件的封接制品
	灯泡与电子管用材料	钨、钼及其合金与钽、铌、镭等制造的线材、棒材、板材	灯泡与电子管等
磁性零件	软磁零件	纯铁、铁铜磷钼、铁硅、铁镍、铁铝合金的材料与制品	无线电设备、仪器、仪表等
	硬磁零件	铝镍钴合金等	
	磁介质零件	软磁材料与电介质组合物制成的制品,如铝硅铁粉芯	
工具材料与制品	硬质合金	1. 钨-钴类合金 含有其他碳化物添加剂的 WC-Co 基合金 2. 钨-钴-钽合金 含有各种碳化物与金属添加剂的 WC-TiC-Co 基合金	金属加工、凿岩工具、量具、耐磨零件 金属加工,用于加工硬度高的钢及其他金属
	合金工具钢	高速钢等	切削工具等
	金刚石-金属工具	碳化钨-镍-金刚石粉,或铜合金-金刚石粉的组合物	研磨工具、切割砂轮、凿岩钻头
耐热零件	非金属难熔化合物基合金	碳化硅、碳化硼、氮化硅、氮化硼等为基体的合金	高温下工作的各种零件、磨具、磨料
	难熔金属化合物基合金	过渡族金属(W、Mo、Ta、Nb、Ti等)的碳化物、硼化物、硅化物、氮化物,它们彼此间及与各种金属的化合物	高温下工作的涡轮机中的各种零件,切削工具
	弥散强化合金	Al-Al ₂ O ₃ 、Cu-Al ₂ O ₃ 、Ni-Al ₂ O ₃ 、Ni-Cr-ThO、Ag-Al ₂ O ₃ 等,具有良好的高温特性	用于较高温度的耐热零件,如 Al-Al ₂ O ₃ 制作内燃机活塞
原子能反应堆材料	核燃料材料	将 U 及其化合物 UAl ₂ 、UAl ₃ 、UAl ₄ 、UBe ₁₃ 、UC、UC ₂ 、UO ₂ 等分散于基体金属 Al、Be、Fe、Mg、Mo 等的弥散型燃料	用作原子能反应堆的燃料

续表 1-2

类别	种 别	特 性	应 用 例
原子能反应堆材料	减速和反射壁材料	热中子减速能大,且吸收断面积小的物质,如 Be、BeO、Be ₂ C 等	用作原子能反应堆的燃料
	结构材料	热中子吸收断面积小的金属与合金,如 Al、Be、Mg、Zr、Al-Al ₂ O ₃ 、Mo、Mo 合金、Ni 基合金、Ni-Cr 合金、Co 基合金、TiC 基金属陶瓷等	
	控制和屏蔽材料	热中子吸收断面积大,强度高,质量轻和耐蚀性好的金属和合金,如 B、B ₄ C	

下面扼要讨论粉末冶金的重要应用。

1. 结构零件

据文献报道,20 世纪末,全世界粉末冶金制品年销售额已超过 200 亿美元,其中粉末冶金结构零件、含油轴承、金属注射成形(MIM)及粉末冶金半成品的年销售额为 80 亿美元,粉末冶金磁体的年销售额为 50 亿美元,硬质合金的年销售额为 58 亿美元。

由上述不难看出,粉末冶金结构零件是粉末冶金的最重要应用之一。它们都是由金属粉末通过压制—烧结制作的尺寸公差精密、形状复杂的零件(如齿轮)。

粉末冶金铁基结构零件的开发始于 20 世纪 30 年代。它们的应用很快就扩大到由其他金属与合金粉末制作的零件。图 1-6 给出了结构零件的生产工艺流程图。图的左边列出了常规的单轴向刚性模具压制零件的生产工序,右边列出了用金属注射成形、温压及等静压

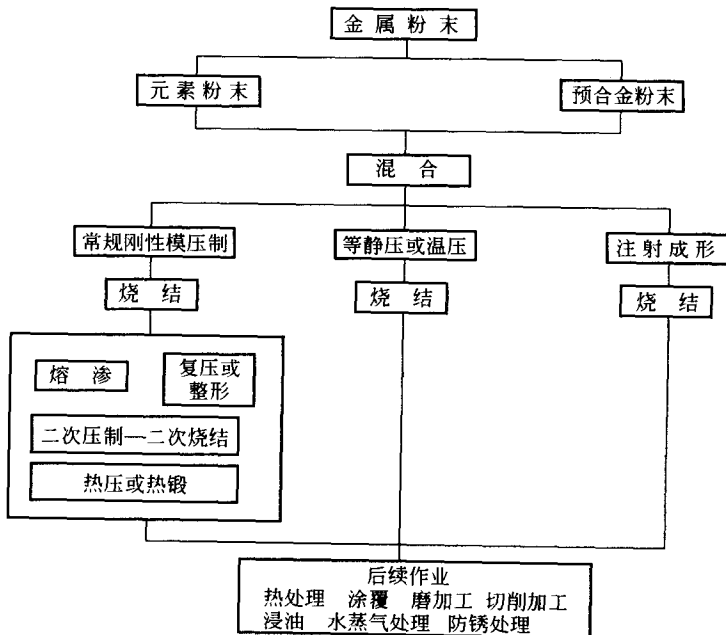


图 1-6 粉末冶金结构零件生产工艺流程图