

粉末冶金基础

中南矿冶学院粉末冶金教研室 編

冶金工业出版社

粉末冶金基础

中南矿冶学院粉末冶金教研室 编

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张6 1/2 字数168千字

1974年12月第一版 1974年12月第一次印刷

印数00,001~13,900册

统一书号：15062·3146 定价（科二）0.55元

毛主席语录

人民，只有人民，才是創造世界历史的动力。

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

我国粉末冶金工业，在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的光辉照耀下，得到了迅速发展，粉末冶金工厂遍及全国，粉末冶金制品的产量和品种不断增加，质量日益提高，在国民经济建设各方面得到了广泛的应用。

为了适应我国粉末冶金工业发展的需要，满足广大工农兵在抓革命，促生产中开展技术学习的要求，我们编写了《粉末冶金基础》一书，供粉末冶金工厂生产工人阅读，也可供管理人员和干部、技术人员参考。

本书内容分为两篇：第一篇为粉末冶金工艺；第二篇为粉末冶金材料与制品。

由于编写人员水平有限，书中可能会有不少缺点错误，希望广大读者批评指正。

编者

一九七四年四月

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 粉末冶金工艺

第一章 粉末的生产.....	11
§ 1 机械粉碎法.....	11
§ 2 雾化法.....	15
§ 3 还原法.....	19
§ 4 还原—化合法.....	27
§ 5 气相沉积法.....	31
§ 6 液相沉淀法.....	32
§ 7 电解法.....	33
第二章 粉末的性能.....	36
§ 1 粉末颗粒和粉末体.....	36
§ 2 粉末的化学成分和物理性能.....	38
§ 3 粉末的工艺性能.....	42
第三章 成型.....	47
§ 1 物料准备.....	47
§ 2 压制工艺.....	49
§ 3 压制的基本规律.....	51
§ 4 影响压制过程的基本因素.....	59
§ 5 压模和压力机.....	63
§ 6 其他成型方法.....	71
第四章 烧结.....	78
§ 1 烧结工艺.....	79
§ 2 烧结的基本规律.....	82
§ 3 影响烧结过程的基本因素.....	94
§ 4 烧结炉.....	99
§ 5 其他烧结方法.....	104
§ 6 烧结后的处理.....	108

第五章	粉末冶金特殊工艺	111
§ 1	等静压成型	111
§ 2	热压	116
§ 3	粉末冶金锻造	119
§ 4	粉末冶金轧制	124
§ 5	粉末冶金挤压	127

第二篇 粉末冶金材料与制品

第六章	机械零件和机械材料	132
§ 1	减摩材料	132
§ 2	机械零件	137
§ 3	摩擦材料	145
§ 4	多孔材料	148
第七章	工具材料	153
§ 1	硬质合金	153
§ 2	其他硬质工具材料	168
§ 3	粉末冶金高速钢	169
第八章	磁性材料和电工材料	172
§ 1	磁性材料	172
§ 2	电接触材料	176
§ 3	电真空材料	181
第九章	耐热材料	183
§ 1	金属基耐热材料	183
§ 2	弥散强化材料	187
§ 3	纤维强化材料	191
§ 4	高温金属陶瓷	193
第十章	原子能工程材料	196
§ 1	核燃料元件	196
§ 2	其他原子能用的粉末冶金材料	197

绪 论

粉末冶金是用金属粉末(或金属粉末与非金属粉末的混合物)作原料,经成型和烧结,制造成各种类型的金属制品和金属材料的方法。粉末冶金法与生产陶瓷有相似的地方,因此也叫金属陶瓷法。

大家知道,在机器制造中,切削加工采用硬质合金的刀具,其寿命比工具钢刀具提高几十倍;在火箭技术中,火箭喷管材料要求能耐3000°C以上的高温,一般的耐热材料是不能承受这样高的温度的,“发汗材料”(一种用钨粉做多孔骨架,渗以银或铜的材料,在高温下,靠其表面发汗,而使受热表面冷却)成功地解决了这个问题;又如在日常生活中,照明的电灯,发光是靠灯泡中的钨丝来实现的。而硬质合金、“发汗材料”、钨丝,这些具有特殊性能的材料只有用粉末冶金方法才能制造出来。

常用的机械零件,例如齿轮,其传统的制造方法是切削加工。但从二十世纪四十年代开始,已成功地而且迅速地采用粉末冶金法制造机械零件,从而大大地减少了切削加工量。

可以看出,粉末冶金法既是一种能生产用普通方法无法生产的特殊金属材料的技术,又是一种制造廉价优质机械零件的少切削、无切削加工工艺。

一、粉末冶金的特点

粉末冶金在技术上和经济上具有一系列特点:

第一,粉末冶金方法能生产具有特殊性能的材料。

1. 粉末冶金方法能控制制品的孔隙度,可以生产各种多孔材料,多孔含油轴承;

2. 能利用金属和金属、金属和非金属的组合效果,生产多种特殊性能的材料,例如,钨—铜假合金的电接触材料,金属和

非金属组成的摩擦材料；

3. 可以生产复合材料，例如，由难熔金属化合物和金属组成的硬质合金和高温金属陶瓷，弥散强化材料和纤维强化材料等；

4. 生产难熔金属材料或制品比其它方法简便；

5. 可以生产结构均匀的合金，例如，用粉末冶金方法生产的高速钢，可以避免碳化物偏析，比熔铸法生产的高速钢的性能好。

第二，用粉末冶金方法制造机械零件，是一种无切削、少切削的新工艺。

1. 大量减少机加工量，节省机床；

2. 节约金属材料；

3. 提高劳动生产率。

事物都是一分为二的。粉末冶金在应用上也有不足之处。例如，粉末成本高，制品的大小和形状受到一定限制，烧结零件的韧性较差等等。但是，这些问题都是随着粉末冶金技术的发展而正在研究或有待研究解决的。例如，等静压成型技术的发展，使得压制较大的和异形的制品成为可能；粉末冶金锻造技术的发展，使粉末冶金材料的韧性可以得到大大提高等等。

二、粉末冶金的应用

现代粉末冶金是从1909年制造电灯钨丝开始的。由于粉末冶金在技术上和经济上的优越性，使得它在国民经济中起着愈来愈大的作用，可以说，现在没有一个工业部门不使用粉末冶金材料和制品。

根据用途，粉末冶金材料的大致分类见表1。

表2所列为金属粉末和粉末冶金材料的大致应用范围。

表2中所列用途只是一些典型例子，并不是粉末冶金材料应用的全貌。从这些例子可以看出：从普通机械制造到精密仪器，从日常生活到医疗卫生，从五金用具到大型机械，从电子工业到

电机制造，从采矿到化工，从民用工业到军事工业，从一般技术到尖端技术领域里，粉末冶金材料和制品都得到了广泛的应用。

表 1 粉末冶金材料和制品分类表

类 别	材 料 和 制 品 名 称
机械零件和机械材料	减摩材料 机械零件 摩擦材料 多孔材料
工具材料	硬质合金 金刚石-金属组合材料 陶瓷刀具材料 粉末冶金高速钢
磁性材料和电工材料	磁性材料 电接触材料 电热材料 电真空材料
耐热材料	粉末冶金超合金 难熔金属及合金 高温金属陶瓷 弥散强化材料 纤维强化材料
原子能工程材料	核燃料元件 其他原子能工程材料

我国粉末冶金工业，在毛主席革命路线指引下，在党的“独立自主、自力更生”方针指引下，特别是从1958年以来，得到了迅速的发展。以铁基机械零件为例，从1965年到1971年产量增长10倍以上。

近年来，国外的粉末冶金工业也有较迅速的发展。表3、表4列举了从1966年至1972年美国、日本、西德的铁粉以及几种有色金属粉消耗量的增长情况。美国粉末冶金铁基机械零件，大概每年以15~17%的增长率发展。

表 2 金属粉末和粉末冶金材料的应用范围

工业部门	金属粉末和粉末冶金材料应用举例
采矿	硬质合金, 金刚石-金属组合材料
金属加工	硬质合金
汽车制造	机械零件, 摩擦材料, 过滤器, 接点
拖拉机制造	机械零件, 多孔含油轴承
机床制造	机械零件, 多孔含油轴承
纺织机械	多孔含油轴承, 机械零件
机车制造	多孔含油衬套
造船	摩擦材料, 油漆用铝粉
飞机制造	摩擦片, 过滤器, 防冻用多孔材料
精密仪器	仪表零件, 软磁材料
冶金、矿山机械	多孔含油轴承, 机械零件
电机制造	多孔含油轴承, 铜-石墨电刷
电气和电子工业	电接触材料, 电真空电极材料
无线电和电视	磁性材料
五金和办公用品	锁零件, 打字机零件
卫生	医疗器械
化学工业	过滤器, 催化剂
石油工业	过滤器
军工	穿甲弹头, 多孔炮弹箍, 军械零件
宇宙航行和火箭技术	耐热材料, 发汗材料, 固体燃料
原子能工程	核燃料元件, 控制材料, 屏蔽材料, 反应堆结构材料

三、粉末冶金工艺概述

粉末冶金工艺的第一步是制取金属、合金和金属化合物粉末, 第二步是将原料粉末通过成型、烧结以及烧结后的处理(需要时)制得成品。

(一) 粉末的生产

粉末冶金材料和制品的多样性及对其质量要求的不断提高, 要求粉末的种类越来越多。同时, 生产的发展也要求更经济的粉末生产方法以降低粉末成本。因此, 生产粉末的方法是多种多样的。

粉末生产的方法, 不外乎使块状金属、合金, 或者金属化合

表 3 美国、日本、西德铁粉消耗量

单位：吨

国别及消耗量		年 份						
		1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
美国和 加拿大	铁粉消耗量	100000	94000	112500	126900	114552	127898	153000
	用于生产零件, %	62	67	70	70	69	73	77
日 本	铁粉消耗量	5000	6800	8600	10150	12170	12650	14000
	用于生产零件, %	—	—	—	—	—	—	—
西 德	铁粉消耗量	14800	14050	19050	22800	23600	22500	21000
	用于生产零件, %	39	38	41	41	46	45	47

表 4 美国、日本、西德铜粉、铝粉、钨粉消耗量

单位：吨

国别及消耗量		年 份					
		1966	1967	1968	1969	1970	1971
美国	铜和铜合金粉消耗量	33000	28000	31100	30260	23755	26290
日本		—	—	4716	5272	5853	—
西德		—	—	—	3200	3400	2300
美国	铝粉消耗量	—	117000	138000	140780	84832	64753
日本		—	—	5174	5948	6000	—
西德		—	—	—	—	—	—
美国	钨粉消耗量	—	3740	3600	4380	4639	3108
日本		—	—	1164	1389	1787	1186
西德		—	—	—	819	966	809

物呈固态、液态或气态转变成粉末状态。

呈固态使金属与合金或者金属化合物转变成粉末的方法有：

(1) 从固态金属与合金制取金属与合金粉末——机械粉碎法和电化学腐蚀法；(2) 从固态金属氧化物及盐类制取金属与合金粉末——还原法；(3) 从金属和非金属粉末制取金属化合物粉末——化合法。

呈气态使金属或金属化合物转变成粉末的方法有：(1) 从金属蒸汽制取金属粉末——蒸汽冷凝法；(2) 从气态金属化合物制取金属与合金粉末——热离解法；(3) 从金属化合物气相还原制取金属与合金粉末——气相还原法。

呈液态使金属与合金或者金属化合物转变成粉末的方法有：

(1) 从液态金属与合金制取金属与合金粉末——雾化法；(2) 从金属盐溶液电解制取金属与合金粉末——水溶液电解法；(3) 从金属盐溶液置换制取金属与合金粉末——溶液氢还原法。

从生产方法过程的实质来看，现有制粉方法大体上可归纳为两大类，即机械法和物理化学法。所谓机械法是将原材料机械地粉碎，其化学成分基本上不发生变化而获得粉末的工艺过程；所谓物理化学法是借助化学的或物理的作用，改变原料的化学成分或聚集状态而获得粉末的工艺过程。

制取粉末的各种方法以及每种方法所制得粉末的典型代表列于表5。其中应用最广泛的是雾化法、还原法和电解法。

(二) 粉末冶金材料和制品的生产

生产粉末冶金材料和制品的基本工艺包括成型和烧结，需要时还进行烧结后的处理。

成型前要进行物料准备。物料准备包括：(1) 粉末的预先处理，如粉末加工、粉末退火；(2) 粉末的分级；(3) 粉末的混合；(4) 粉末的干燥等。

成型的目的是制得一定形状和尺寸的压坯，并使其具有一定的密度和强度。成型方法基本上分加压成型和无压成型。加压成型中用得最普遍的是模压成型（简称压制）。

表 5 粉末的制取方法

粉末的制取方法		原 材 料	粉 末 产 品 举 例			
			金 属 粉 末	合 金 粉 末	金属化合物粉末	
机 械 法	机械粉碎	脆性金属与合金	Sb, Cr, Mn, 高碳铁	Fe-Al, Fe-Cr, Fe-Si等铁合金	—	
		人工增加脆性的金属与合金	Sn, Pb, Ti	—	—	
	旋涡研磨	金属与合金	Fe, Al	Fe-Ni, 钢	—	
	气流粉碎	金属与合金	Fe	不锈钢, 合金钢, 超合金	—	
机 械 法	雾化	液态金属与合金	Sn, Pb, Al, Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢, 不锈钢	—	
	水雾化	液态金属与合金	Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢	—	
	旋转圆盘雾化	液态金属与合金	Cu, Fe	黄铜, 青铜, 合金钢	—	
	旋转电极雾化	液态金属与合金	难熔金属, 无氧铜	Al合金, Ti合金, 不锈钢, 超合金	—	
物 理 化 学 法	电化腐蚀	晶间腐蚀 电腐蚀	不锈钢 任何金属与合金	— 任何金属	不锈钢 任何合金	
	还原	气体还原	金属氧化物及盐类	W, Mo, Fe, Co, Ni, Cu	Fe-Mo, W-Re (共还原)	—
		碳还原	金属氧化物	Fe, W	—	—
		金属热还原	金属化合物	Ta, Nb, Ti, Zr, Hf, Th, U	Cr-Ni (共还原)	—
物 理 化 学 法	化合	碳化	金属粉末	—	—	碳化物
		氮化	金属粉末	—	—	氮化物
		硼化	金属粉末	—	—	硼化物
		硅化	金属粉末	—	—	硅化物

续表 5

粉末的制取方法		原 材 料	粉 末 产 品 举 例			
			金 属 粉 末	合 金 粉 末	金属化合物粉末	
物	还原- 化合	碳与金属氧化物作用	金属氧化物	—	—	碳化物
		氮与金属氧化物作用	金属氧化物	—	—	氮化物
		碳化硼法	金属氧化物	—	—	硼化物
		硅与金属氧化物作用	金属氧化物	—	—	硅化物
理 化 学	气相 沉积	金属蒸汽冷凝	气态金属	Zn, Cd, Mg	—	—
		热离解	气态金属碳基物	Fe, Ni, Co	Fe-Ni	—
		气相氢还原	气态金属卤化物	W, Mo	Nb-V	—
		气相沉积	气态卤化物和金属粉末	—	—	硅化物
法	液相 沉淀	置换	金属盐水溶液	Cu, Sn, Ag	—	—
		溶液氢还原	金属盐水溶液	Cu, Ni, Co	Ni-Co	—
	电解	水溶液电解	金属可溶阳极与金属盐水溶液	Fe, Cu, Ni, Ag	Fe-Ni	—
		熔盐电解	金属熔盐	Ta, Nb, Ti, Zr, Th, U	—	碳化物 硼化物 硅化物

压成型。其他加压成型方法包括等静压成型、粉末冶金轧制、粉末冶金挤压等。粉浆浇注是一种无压成型。

烧结是粉末冶金工艺中的关键性工序。成型后的压坯通过烧

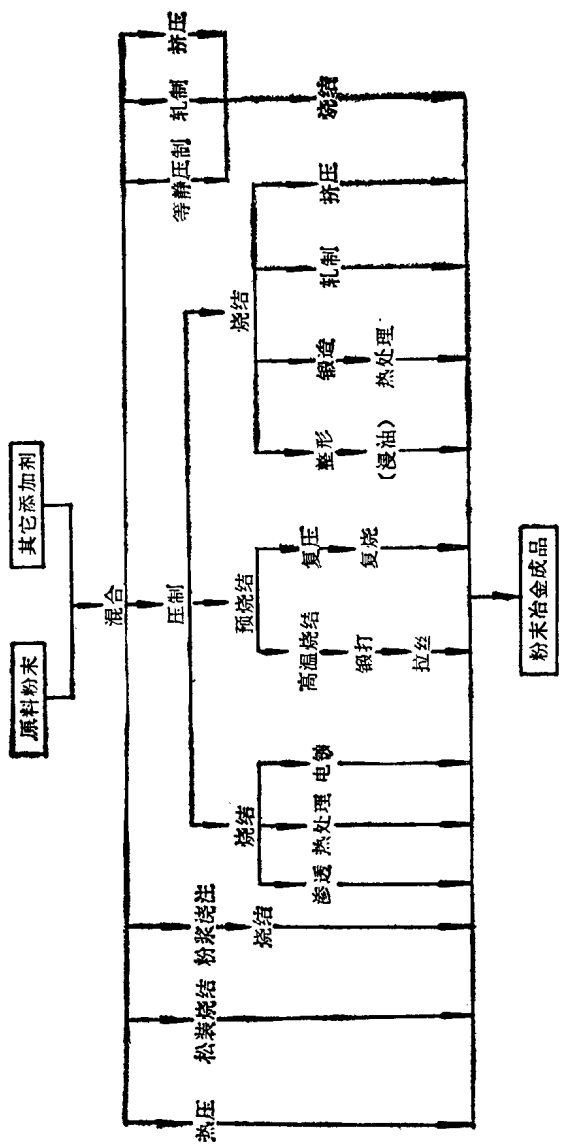


图 1 粉末冶金材料和制品的工艺流程举例

结使其得到所要求的最终物理机械性能。烧结分单元系烧结和多元系烧结。对于单元系和多元系的固相烧结，烧结温度比所用金属与合金的熔点低；对于多元系的液相烧结，烧结温度比其中难熔成分的熔点低，而高于易熔成分的熔点。一般的，烧结是在保护气氛下进行。除了普通烧结方法外，还有松装烧结，将金属渗入烧结骨架中的渗透法，压制和烧结结合在一起进行的热压等。

烧结后的处理，根据产品的不同要求，有多种方式。如整形、浸油、机加工、热处理（淬火、回火等和化学热处理）和电镀。此外，一些新的工艺，如轧制、锻造也应用于粉末冶金材料烧结后的加工。特别是近年来，锻造应用于粉末冶金，即所谓粉末冶金锻造，可使粉末冶金材料的机械性能，特别是韧性接近于一般铸锻材料的水平。

图 1 所列为粉末冶金材料和制品所使用的工艺流程举例。

第一篇 粉末冶金工艺

第一章 粉末的生产

§1 机械粉碎法

一、机械研磨

机械研磨是一种很普通的方法，就是靠击碎，磨削等多方面的作用，将一定大小的块状金属或合金机械地粉碎成粉末。根据所用设备的不同，常用的机械研磨法有球磨、锤磨等。

虽然所有的金属和合金都可以被机械地粉碎，但实践证明机械研磨只对脆性材料比较适用。机械研磨主要用来：（1）粉碎脆性金属和合金，如锑、锰、铬、高碳铁，铁合金等；（2）研磨还原海绵铁块或电解沉积物。此外，可以研磨经特殊处理赋予脆性的金属和合金，例如研磨冷却处理后的铅以及加热处理后的锡，又如钛经氢化处理后，进行破碎，最后脱氢，可制取细粒度的高纯钛粉。

机械研磨法不仅是一个独立的制粉方法，而且也常作为其它制粉方法不可缺少的补充工序。

几种研磨机中用得较多的还是球磨机。球磨机是一个金属圆筒，两端有顶盖，内装研磨体（一般是钢球或硬质合金球）。当筒体转动时，球随筒壁回旋上升，至一定高度落下，对物料产生冲击和磨削作用将物料磨碎。球和物料随筒体不同转速的状态示于图1-1中。当转速很低时，球在筒体中只作滑动[图1-1(1)]，此时研磨效率是很低的。如果转速愈来愈高，当超过某一定转速时，球开始与筒壁一起旋转，而不再落下[图1-1(2)]，这一转速被称为球磨机的临界转速，临界转速 $n_{临}$ 可由下公式求出：