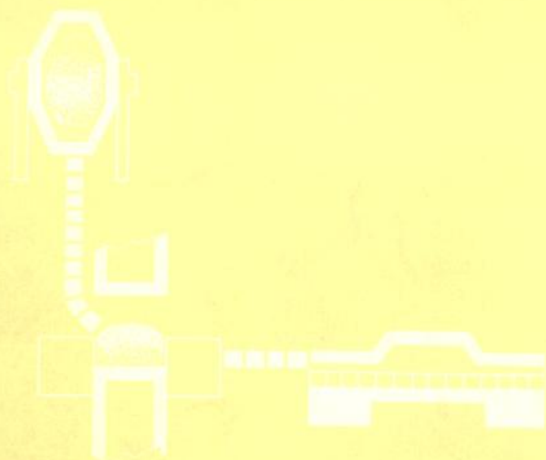


机械工业知识丛书

粉末冶金

北京市粉末冶金研究所编



机械工业出版社

机械工业知识丛书

粉末冶金

北京市粉末冶金研究所编



机械工业出版社

粉 末 冶 金

北京市粉末冶金研究所编

(只限国内发行)

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $12 \frac{1}{16}$ · 字数 42 千字

1974年2月北京第一版·1974年2月北京第一次印刷

印数 0,001—12,500 · 定价0.17元

统一书号: 15033 · (内) 584

出版说明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《粉末冶金》为本丛书之一，扼要地介绍了粉末冶金的基本知识。说明什么是粉末冶金，粉末冶金是怎样发展起来的，以及它在国民经济中的作用。书中着重介绍了粉末冶金的生产工艺、制品应用和它的技术经济效果。

本丛书在编写过程中，承各编写单位大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述

- 一 什么是粉末冶金 1
- 二 粉末冶金的由来和发展 1
- 三 粉末冶金在国民经济中的作用 3

第二章 生产工艺

- 一 原材料——金属粉末的生产 5
- 二 混料 11
- 三 成型 11
- 四 烧结 20
- 五 后续处理 25

第三章 制品及应用

- 一 机械零件 27
- 二 电磁元件 41
- 三 工具 44
- 四 在尖端技术方面应用的材料和制品 50

第一章 概 述

粉末冶金在现代工业中得到应用，仅仅几十年的时间，由于它的技术经济效果较为显著，目前不仅已广泛应用于机械、冶金、化工、交通运输、地质勘探、轻工等各个工业部门，并且在原子能工业、火箭、宇宙航行以及遥测遥控等尖端科学技术方面，也得到了应用。

我国解放后开始采用粉末冶金技术，一九五八年大跃进以来，全国办起了不少小型粉末冶金工厂，粉末冶金研究工作也迅速开展起来。在毛主席无产阶级革命路线指引下，粉末冶金迅速发展，产量不断增加，应用日益广泛，在社会主义建设中发挥了一定的作用。

一、什么是粉末冶金

粉末冶金是将金属粉末（或掺入部分非金属粉末的混合物）经过成型和烧结，制成金属零件或金属材料的一种工艺技术。它既可用金属粉末直接制成（不经切削加工或经少量切削加工）符合装配要求的零件，又可制造用一般冶炼方法难以生产的金属材料和制品。

粉末冶金生产工艺（图1）类似陶瓷制品的生产，只不过原材料不是陶土，而是金属粉末，因此粉末冶金又叫作“金属陶瓷术”或“金属陶瓷法”。

二、粉末冶金的由来和发展

粉末冶金作为现代工业技术，是在二十世纪初，由于用此法制取灯泡钨丝成功而受到重视。钨的熔点高达 3380°C ，适合做灯

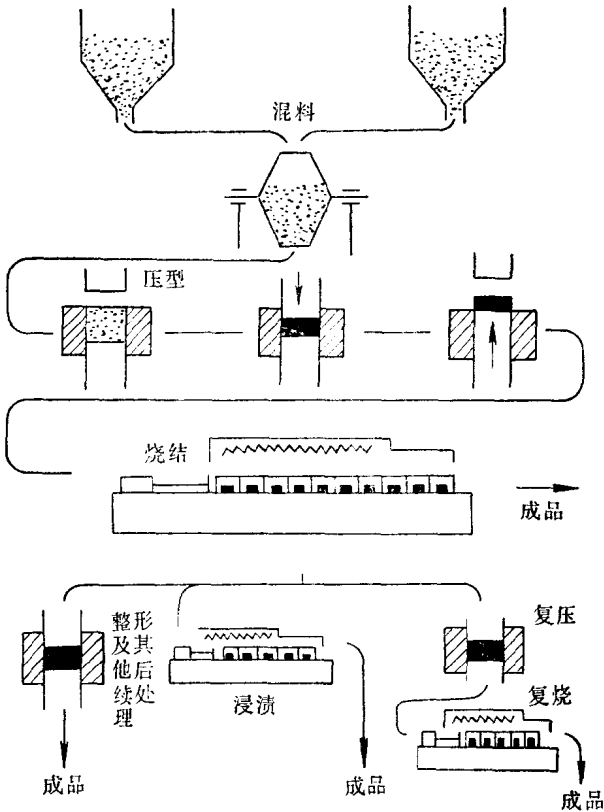


图1 粉末冶金生产工艺流程

丝，但却不易冶炼。采用粉末冶金，在较低的温度下（ $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ ）将三氧化钨还原便可获得钨粉，经压制、烧结成坯，最后拔成钨丝，这样就解决了钨丝的生产问题。到二十世纪三十年代，粉末冶金一直作为生产特殊性能材料和制品的手段在工业上发挥作用，如用来制造硬质合金刀具材料以及电机上的电刷等制品。

二十世纪四十年代，出现了以铁为主要成分的粉末冶金铁基制品，如铁基含油轴承和各种机械零件，从而使粉末冶金成为一

种无切削或少切削的加工工艺。随着粉末冶金材料性能的提高和工艺方法的改进，它的应用范围不断扩大。

二十世纪六十年代后半期，粉末冶金被用来制造各种金属型材（带材、棒材、线材等），引起了人们的重视，成为生产金属材料的新方法之一。

三、粉末冶金在国民经济中的作用

粉末冶金在国民经济中的作用表现为：能生产各种特殊性能的材料和制品；显著的技术经济效果；以及应用的广泛性等。例如，它既可以制造很硬的金刚石工具，又可以制造象铅一样软的密封垫；它可以制造几乎没有孔隙的致密零件，又可以制造蜂窝状的多孔材料；它可以制造转动时摩擦阻力较小的轴承，又可以制造摩擦阻力很大的刹车片；它可以制造齿轮等常见的机械零件，又可以制造原子能工业用的铀、钍等烧结核燃料元件；它可以制造电冰箱中的致冷元件，又可以制造电炉中的加热元件等等。

1) 多孔材料

粉末冶金材料是由金属粉末经成型、烧结而成的，通过对粉末粒度、形状以及毛坯的密实程度的选择，就可以获得人们预想得到的孔隙大小和分布均匀的多孔材料。这种可控制的孔隙有以下几种用途：

(1) 用来过滤各种流体，如水、气、油、胶以及各种化学溶液。具有过滤精度高、强度大、耐高温耐腐蚀等优点。

(2) 可吸存各种润滑剂，如机油、二硫化钼、聚四氟乙烯等，制成自润滑和无油润滑的轴承、轴瓦、轴套等减摩零件，适合于在不便加油或不准有油的条件下工作。

(3) 由孔隙渗透出冷却液（象人体出汗一样），用来冷却高温下工作的零件，为采用一般材料代替昂贵的耐热合金，以及为进一步提高零件的工作温度开辟了新的途径。

(4) 孔隙的存在,降低了材料的硬度,使得多孔铁材料在某些方面可以取代铜合金和其他有色金属,如多孔铁浸渍沥青后可用来做管道的密封垫,以节省铅。

(5) 孔隙的存在,还可以有消音、绝热等作用。由于增大了表面积,可以起到催化作用。

2) 假合金

粉末冶金可以把金属-非金属、金属-氧化物、金属-碳化物、重金属-轻金属等机械地混合在一起制成假合金。这种被称做假合金的材料,由于其中各种成分的性能基本上能保持原样,因此它具有良好的综合性能。例如铁、铜与石棉、石墨等混合,可制成刹车用的摩擦片;钴、镍、铁、铜等金属与金刚石粘结,制成金刚石钻头、金刚石-金属笔、金刚石砂轮等工具;铁、铁-镍、铁-铝-硅等金属粉末与树脂或陶瓷粉均匀混合制成磁介质;钨与铜或铜与石墨混合,制成用来接通或断开线路用的电触头等等。

3) 双金属材料

粉末冶金可以将两种或多种金属组合在一起,制成双金属材料。例如将铝包覆在钢丝表面,制成钢心铝线,用它做电线,不但强度高、导电性好,而且可以节省铝、铜等有色金属。又如铁-铜-铁做成磁极,利用铁导磁,利用铜切断磁路。用粉末轧制还可制成双金属带材。

4) 难熔金属

钨、钼、钽、铌、锆以及它们的碳化物,其熔点均在 2000°C 以上,用熔炼法制取这类材料是比较困难的,而采用粉末冶金方法却能在较低的温度下制成致密的块、棒、管、板、带和线材。

此外,粉末冶金还可以制取某些高纯度材料和精密合金,这是因为它可以避免在用熔炼方法制取这类合金时炉衬对材料的污染。

粉末冶金由于实现了无切削或少切削,因而其经济效果较为显著,主要表现在以下几个方面:

1) 节约金属 一般机械加工的材料利用率约为15~70%，而粉末冶金可以达到90%以上。换句话说，用1吨金属粉末制成的零件，相当于要用2.2~2.5吨钢材才能制成。

2) 劳动生产率较高 一般机械制造厂，一个工人一年生产的机械零件平均为2.54吨，而生产同样零件的粉末冶金工人，其年产量平均约为5~6.8吨，劳动生产率高一倍以上。

3) 投资较少 可用少量压机和炉子代替精密机床，从而减少设备投资和厂房占地面积。在无切削情况下，通常一台压机、一台烧结炉的零件产量，相当于十台以上机床的产量。

任何事物都是一分为二的，粉末冶金也有它的缺点和限制。例如采用粉末冶金制造机械零件时，通常需要较大的压制压力才能使粉末成型，对于铁基制品来说，每平方厘米零件压制表面大约需要4~10吨压力，一个截面积为100平方厘米的零件，就需要400~1000吨压力，截面积越大，需要的压力也就越大。因此大型制品的生产，就受到了压机能力的限制。此外薄壁零件、细长零件以及具有较多不同形状的水平截面的零件，成型也较为困难。

粉末冶金制品在成型时需要借助于各种模具，而制造模具的费用较高，因此粉末冶金通常用于大批量生产，否则就不经济。

金属粉末的价格较高，也是目前应用推广粉末冶金的一个很大障碍，为此，如何制取优质价廉的金属粉末，是一个很值得重视的问题。

第二章 生产工艺

一、原材料——金属粉末的生产

金属粉末是粉末冶金的原材料，它的产量多少，可反映出粉末冶金的发展情况。据统计，1947年资本主义国家的铁粉总产量只有1万吨，1969年已发展到16万吨，平均年增长率为15~20%，而其中大部分是用来制造粉末冶金制品的，由此也可以看出，粉末冶金是一项发展较快的技术。

1970年资本主义国家金属粉末总产量约为32万吨，各种金属粉末所占的比例如图2所示。

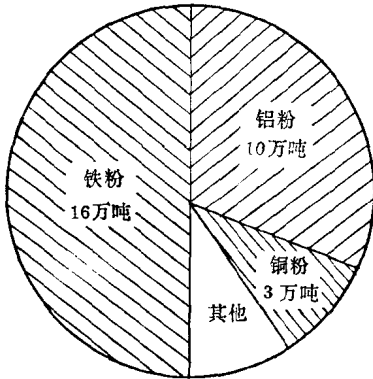


图2 1970年资本主义国家各种金属粉末产量的比例

金属粉末是很小的金属颗粒的集合体，其大小通常在十分之几到千分之几毫米之间，有的甚至在千分之一毫米以下。金属小颗粒的表面比较粗糙，有片状、树枝状、多角状、球状等多种形状。金属颗粒的这些特点，使它与大块金属在性能上有所差别，例如很细的金属粉

末在空气中就能燃烧，五彩缤纷的烟火，有的颜色就是不同的金属粉末燃烧的结果。金属粉末的这些特点，对制造粉末冶金制品也有很大意义，如超细铁粉可制造性能优越的磁性元件，球状粉末可做金属过滤器，树枝状粉末比球状、片状粉末压制的毛坯强度高等等。

1. 生产方法的分类

金属是怎样变成粉末的呢？人们知道，轧钢厂的铁鳞（俗称氧化皮）是比较脆的，很容易碾碎。如果把这种物质中的氧去掉，还其铁的本来面目——这个过程称为还原，就可以获得铁粉，这种制取金属粉末的方法称为还原法；把金属熔化成液体，用高压气流将金属液吹散成雾状，待冷却后获得粉末，这种方法称为雾化法；还有利用小金属块相互强烈碰撞而变成粉末的旋涡研磨法等等。综上所述，制取金属粉末的方法，大致可以分为两类：

1) 机械法——将固体或液体金属（或合金）破碎成粉的方法，其成分基本上不发生变化。属于这类方法的有旋涡研磨法、球磨法、雾化法等。

2) 物理-化学法——利用加热、电解和化学反应，从金属化合物中制取粉末的方法，如还原法、电解法等。

2. 铁粉生产

铁粉是制造铁基粉末冶金制品的主要原材料。粉末纯度一般要求含铁量大于97%。1970年美国铁粉消耗量为12万吨，日本消耗量为1万6千吨。

目前国内外生产铁粉的方法，以采用固体碳还原法为主，也就是用煤粉或焦炭粉还原铁鳞或铁矿石粉的方法。这种方法的工艺流程如图3所示。从轧钢厂来的铁鳞（或铁矿石粉）经过清洗、干燥、磁选、破碎、过筛等工序，去掉杂质，获得较纯的氧化铁粉，将氧化铁粉与煤粉或焦炭粉以一定方式和比例装入耐热罐中，入炉加热至 $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，氧化铁被碳还原成疏松的海绵状铁块，出炉后将海绵铁清刷干净，再经破碎、球磨、过筛、退火等工序，便制成铁粉。

采用固体碳还原法的关键工序是还原，还原过程一般是在隧道窑（图4）中连续进行。这是一种用煤气、重油或煤加热的长窑，窑体分预热段、保温段、冷却段三部分。装有原料的窑车由

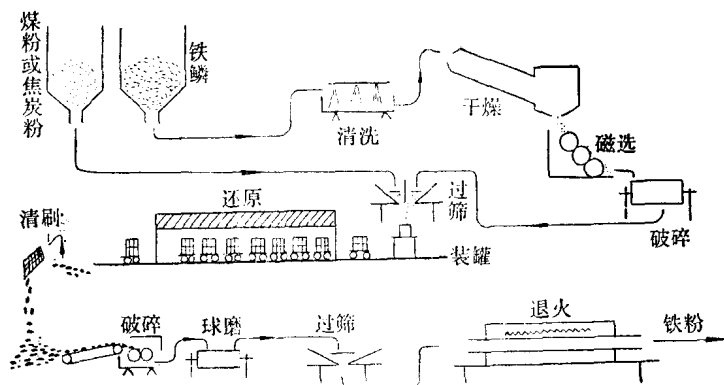


图3 固体碳还原法生产铁粉的工艺流程



图4 隧道窑的局部外形

一端推入，还原好的铁由另一端推出。

采取以下改进生产的措施，可以提高铁粉质量，增加产量，降低成本：

- 1) 加长窑的长度，用天然气加热，充分利用热能；
- 2) 提高操作自动化程度；
- 3) 提高装原料用的耐热罐使用寿命。

我国目前使用的隧道窑，长度一般为40~50米。瑞典有一座

长达 214 米的隧道窑，自动化程度很高，用铁精矿粉为原料，年产量达 40000 吨。

除固体碳还原法外，还有用气体还原铁矿粉或铁鳞的方法：

1) 竖炉法：它是利用天然气或焦炉煤气在立式竖炉（图 5）中还原铁矿粉或铁鳞获得海绵铁。这种方法的优点是，占地面积小，还原气体便宜，成本低，产量大，但是所获得的铁粉含铁量低。西德已建成一座日产 25 吨海绵铁的竖炉设备。

2) 流体床法：这是利用氢气直接还原悬浮状铁矿粉制取铁粉的方法。此法在还原后可直接获得铁粉，因此比较理想。但该方法技术难度较大，而且需要消耗大量氢气，因而广泛用于生产就受到一定限制。

用雾化法生产铁粉，由于粉末压制性好，而且成本低，产量大，受到人们的重视，近几年发展较快。

3. 其他金属粉末的生产

除铁粉外，产量较大的其他金属粉末有铝粉、铜粉、镍粉、钨粉、钼粉和碳化钨粉等。1970 年美国铝粉产量 9 万多吨，日本为 6 千吨。铝粉在美国除用于生产粉末冶金零件和轧成带材外，相当大的部分是直接用于军事工业。铜粉也以美国产量最大，1970 年约为 2 万 3 千多吨，日本为 4 千多吨，法、意、德等西欧国家约 1 千多吨。近几年来，随着粉末冶金的发展，合金钢、不

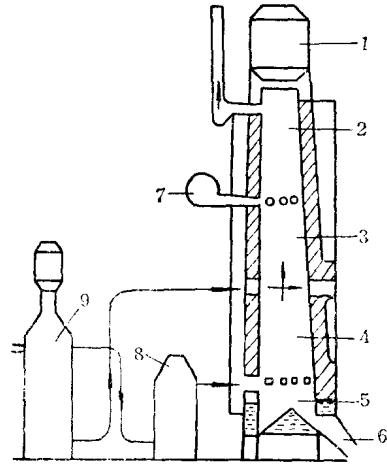


图 5 竖炉示意图

1—装矿石； 2—预热带； 3—预还原带；
4—还原带； 5—冷却带； 6—还原铁出口； 7—鼓风机； 8—脱硫塔； 9—还原气发生炉

锈钢、耐热合金粉末的需要量增长很快，生产合金粉末的方法也随之引起人们的重视。下面简单介绍几种其他金属粉末的主要生产方法。

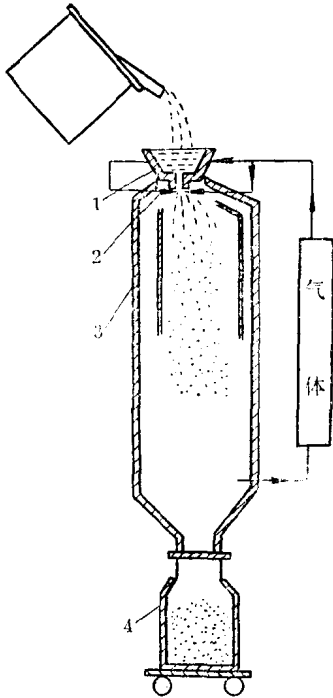


图6 气体雾化法示意图

- 1—盛金属溶液容器；2—喷气嘴；
3—雾化塔；4—盛粉装置

1) 气体雾化法 (图6)：

先将金属在电炉中加以熔化，熔化后的金属液倒入盛金属液容器1中，此容器的下部有一个或几个小孔，金属液由小孔流出时，遇到由喷气嘴喷出的惰性高速气流将金属溶液吹散成雾状，雾状金属在下落过程中常惰性气体或水冷却，最后集聚在盛粉装置4内，获得金属粉末。

铝粉和合金钢粉主要用这种方法生产。此法的优点是，可使金属粉末成本降低，产量增加。瑞典1969年用氩气雾化法生产高速钢粉，产量达到1千吨；用该法生产各种合金钢粉，产量也大幅度增加。我国在五十年代就有工厂用雾化法生产铜粉，现在已有很多地方

能生产不锈钢粉及其他金属粉末。

2) 电解法：通常用来生产铜粉。将用来作原料的铜块当阳极，光滑的紫铜板当阴极，放于硫酸铜溶液中，两极通电后，铜块便不断溶解到硫酸铜溶液中去，硫酸铜中的铜又不断沉积在紫铜板上，以获得纯度很高而又疏松的电解铜，经破碎、过筛后即得铜粉。

钨粉、钼粉以及镍粉，一般是用氢气还原粉状氧化钨、氧化钼以及草酸镍来制取的。

二、混料

混料是将不同成分的金属粉末或金属与非金属粉末按比例混合均匀。

为了提高粉末的压实程度，延长压模寿命，在混合料中常加入少量起润滑作用的物质，如机油、硬脂酸锌、石蜡、汽油橡胶溶液等。

混料过程比较简单，把各种金属和非金属粉末按比例称好，装入混料机，搅拌几十分钟到几小时，待料混合均匀即可。常用的混料机有四种类型（图7）。球磨机常用作硬质合金混料用，其他三种类型常用作铁基、铜基制品混料用。

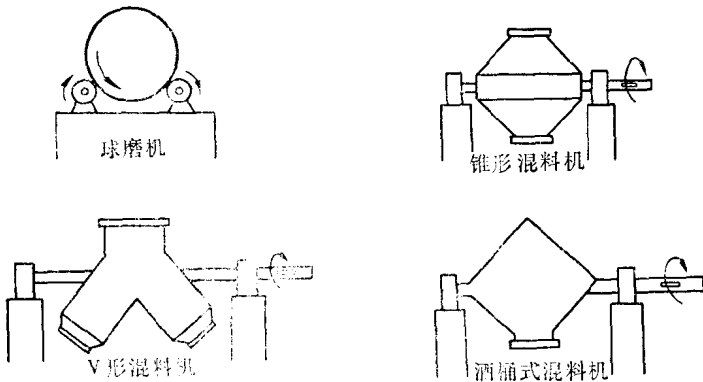


图7 混料机示意图

三、成型

成型是将松散的混合料通过压制或其他手段制成具有一定形状和强度的“压坯”。

常用的成型方法为压制成型。此外，为了解决各种形状的成

型问题，还出现了其他成型方法。

1. 压制成型工艺

压制成型过程包括称粉、装粉、压制与脱模，如图 8 所示。

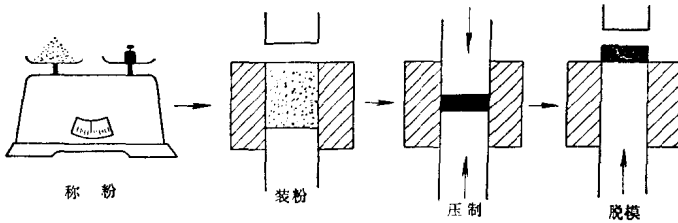


图 8 压制过程示意图

称取一定重量的粉末，装入模具内加压。为了使压坯具有制品的形状和一定强度，必须使压坯具有一定的密度（即单位体积压坯的重量，以克/厘米³表示），密度大小可以说明粉末压紧的程度。控制密度的方法：一种是控制压制压力；一种是控制压下量。在一般情况下，压力愈大，压下量愈多，密度愈高。而压力大到一定程度，就不易再下压，密度也很难再增加。不同的金属粉末和不同要求的制品，对压制压力的要求也不相同，如表 1 所示。

表 1

金属粉末 及制品	青铜 轴套	铁基 轴承	铜 石墨	铁 氧化物	铝	铁基零件			硬质 合金
						低 密度	中 密度	高 密度	
压制压力 (吨/厘米 ²)	2~3	2~4	3.5~4.5	1~2	1~1.5	4~5.5	5.5~6	6~8	0.5~1.5

压力去除后，沿压制方向可以把压坯从模具内脱出。

为了提高生产效率，通常压制过程的四个阶段是在自动压机上连续自动进行的。

2. 压模和压机