

粉末冶金模具设计手册

模具手册之一

《粉末冶金模具设计手册》编写组 编



机械工业出版社

TF12-62

1
3

粉末冶金模具设计手册

—— 模具手册之一 ——

《粉末冶金模具设计手册》编写组 编

bx47/24



机械工业出版社



A 543911

为了总结和推广我国在模具的设计和制造方面的先进经验和先进技术，在第一机械工业部的领导下由桂林电器科学研究所组织有关工厂、院校和科研单位编写了这套《模具手册》。

这套《模具手册》按下述六个专题手册分别出版：

粉末冶金模具设计手册；塑料模设计手册；压铸模设计手册；冷冲模设计手册；锻模设计手册；模具制造手册。

本手册共分十章。第一章，粉末冶金及其制品；第二章，模具设计前需要考虑的有关问题；第三章，成型模结构设计；第四章，整形模结构设计；第五章，模具结构示例；第六章，模具主要零件的尺寸计算；第七章，模具零件的设计；第八章，模具通用化；第九章，普通压机实现自动化实例；第十章，模具损伤和压件缺陷分析。

本手册主要供从事粉末冶金模具设计工作的工人、技术人员使用，亦可供其它有关专业人员参考。

粉末冶金模具设计手册

《粉末冶金模具设计手册》编写组 编

*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张18·插页1·字数441千字

1978年6月北京第一版·1978年6月北京第一次印刷

印数 00,001—31,000·定价1.50元

*

统一书号：15033·4400

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国粉末冶金行业，呈现出一派欣欣向荣的大好形势。在机械制造业中，粉末冶金作为少无切削的工艺之一，得到了广泛的应用，为社会主义革命和建设，作出了一定的贡献。

在粉末冶金制品的生产中，模具设计是重要的一环，它关系到生产的质量、效率、成本、劳动条件和安全。我国粉末冶金行业的广大职工，在毛主席“工业学大庆”指示的鼓舞下，独立自主，自力更生，走自己工业发展的道路，在长期的生产和科研实践中，在模具设计方面，积累了丰富的经验。为了总结这些经验，进一步加速粉末冶金的发展，我们编写了这本手册。

本手册介绍了目前生产面最广的铁基和铜基零件的模具设计。取材以我国经验为主，同时本着“洋为中用”的原则，适当地吸取了国外的资料。

本手册由北京市粉末冶金研究所主编，上海粉末冶金厂为副主编。参加编写的单位有：北京天桥粉末冶金机床配件厂，上海仪表粉末冶金厂，上海材料研究所，中国纺织机械厂，上海纺织轴承一厂。

在编写过程中，得到了粉末冶金行业各兄弟单位的大力支持，提供了大量的技术资料和宝贵意见，谨此表示感谢。

由于我们初次编写，缺乏经验，加上水平有限，手册中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

《粉末冶金模具设计手册》编写组

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 前言 | |
| 第一章 粉末冶金及其制品 | 1 |
| 第一节 粉末冶金概述 | 1 |
| 第二节 粉末冶金制品的制造过程 | 4 |
| 一、金属粉末 | 4 |
| (一) 金属粉末的制造方法 | 4 |
| (二) 金属粉末的性能和测定方法 | 6 |
| (三) 粉末的预处理与混合 | 9 |
| 二、粉末成型 | 10 |
| (一) 封闭钢模冷压法 | 10 |
| (二) 特殊成型方法 | 13 |
| 三、烧结 | 18 |
| (一) 烧结炉 | 18 |
| (二) 烧结气氛 | 19 |
| 四、后处理 | 20 |
| 第三节 粉末冶金制品的性能 | 21 |
| 一、减摩零件 | 21 |
| 二、结构零件 | 22 |
| 三、摩擦零件 | 23 |
| 四、过滤元件 | 24 |
| 五、磁性零件 | 25 |
| 六、电触头 | 26 |
| 第二章 模具设计前需要考虑的有关问题 | 28 |
| 第一节 对任务的了解及确定 | 29 |
| 一、制品的性能与工艺的关系 | 29 |
| (一) 结构零件 | 29 |
| (二) 减摩零件 | 30 |
| (三) 软磁零件 | 31 |
| 二、压件形状的确定 | 32 |
| (一) 需要修改形状的示例 | 32 |
| (二) 需要后加工的示例 | 35 |
| 三、压件精度的确定 | 37 |
| (一) 尺寸精度 | 37 |
| (二) 位置精度 | 38 |
| 四、压件的光洁度 | 39 |
| 五、批量 | 39 |
| 第二节 有关压制的计算 | 40 |
| 一、面积 | 40 |
| (一) 规则形状面积的计算公式 | 40 |
| (二) 面积的其他算法 | 42 |
| 二、体积 | 42 |
| (一) 规则几何体体积的计算公式 | 42 |
| (二) 体积的其他算法 | 44 |
| 三、粉重的计算 | 44 |
| 四、压制压力的计算 | 44 |
| (一) 单位压力与压坯密度的关系 | 44 |
| (二) 摩擦因素的考虑 | 48 |
| 五、脱模压力的计算 | 48 |
| (一) 摩擦系数 | 48 |
| (二) 剩余侧压强 | 49 |
| (三) 侧面积 | 51 |
| 六、压力中心的计算 | 51 |
| (一) 规则截面形状的重心位置(压力中心) | 51 |
| (二) 非规则截面形状的压力中心 | 53 |
| 第三节 压机的选择 | 54 |
| 一、选择依据 | 54 |
| (一) 压制压力 | 54 |
| (二) 脱模压力 | 55 |
| (三) 工作台面尺寸和行程 | 55 |
| (四) 其它因素的考虑 | 55 |
| 二、粉末冶金专用压机的规格 | 56 |
| (一) 全自动液压机 | 56 |
| (二) 转盘式压机 | 57 |
| (三) 杠杆压机 | 57 |
| 第四节 几种压制方式的分析 | 57 |
| 一、有关压制的一些物理量 | 57 |
| 二、无台阶柱状实体类的压制 | 59 |
| (一) 单向压制 | 59 |
| (二) 双向压制 | 61 |
| (三) 浮动压制 | 62 |
| (四) 后压 | 62 |
| 三、无台阶柱体带孔类的压制 | 63 |
| (一) 单向压制 | 63 |

| | | | |
|---------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| (二) 双向压制 | 64 | (四) 管式料斗 | 119 |
| (三) 浮动压制 | 65 | (五) 振动式料斗 | 120 |
| (四) 双向摩擦压制 | 66 | 二、料仓(贮料机构) | 123 |
| 四、不同压制方式的应用原则 | 68 | (一) 管式料仓 | 123 |
| (一) 无台阶柱状实体类几种压制方 式的比较 | 68 | (二) 槽式料仓 | 124 |
| (二) 无台阶柱状带孔类几种压制方 式的比较 | 69 | (三) 定向机构 | 125 |
| 第三章 成型模结构设计 | 71 | 三、供料机构 | 126 |
| 第一节 压制上面的选择 | 72 | (一) 直线往复供料机构 | 127 |
| 第二节 补偿装粉 | 74 | (二) 往复摆动供料机构 | 127 |
| 一、补偿装粉的作用 | 74 | (三) 旋转运动供料机构 | 128 |
| 二、补偿装粉示例 | 74 | (四) 复合运动供料机构 | 130 |
| 第三节 成型模结构基本方案 | 77 | 第五章 模具结构示例 | 132 |
| 一、压坯形状分类 | 77 | 第一节 成型模结构示例 | 132 |
| 二、成型模结构基本方案示例 | 79 | 一、无台阶柱体类 | 132 |
| 第四节 成型模主要零件的连接方式 | 84 | (一) 手动模 | 132 |
| 一、阴模与模板和模座的连接 | 84 | (二) 机动模 | 134 |
| 二、模板和垫板与压机的连接 | 86 | 二、带台阶柱体类 | 144 |
| 三、上模冲的连接 | 87 | (一) 手动模 | 144 |
| 四、下模冲的连接 | 89 | (二) 机动模 | 148 |
| 五、芯棒的连接 | 91 | 三、球面体类 | 157 |
| 六、导柱与模板的连接和限位 | 93 | (一) 手动模 | 157 |
| 第五节 浮动结构 | 94 | (二) 机动模 | 159 |
| 一、弹簧浮动 | 94 | 四、带齿类 | 161 |
| (一) 阴模浮动 | 94 | 五、多平行孔类 | 163 |
| (二) 芯棒浮动 | 98 | 第二节 整形模结构示例 | 164 |
| (三) 模冲及压套浮动 | 100 | 一、手动模 | 164 |
| 二、摩擦浮动 | 102 | 二、机动模 | 166 |
| 三、气压浮动 | 103 | 第六章 模具主要零件的尺寸计算 | 172 |
| 四、液压浮动 | 106 | 第一节 尺寸计算方法 | 172 |
| 第六节 脱模复位结构 | 106 | 一、径向尺寸的计算 | 172 |
| 一、带下顶缸压机的脱模复位结构 | 106 | (一) 计算公式 | 172 |
| 二、无上顶缸压机的脱模复位结构 | 108 | (二) 不同整形方式及不整形的计算 方法 | 174 |
| 第七节 调节装粉结构 | 111 | (三) 配合及精度 | 180 |
| 第四章 整形模结构设计 | 112 | 二、轴向尺寸的计算 | 181 |
| 第一节 整形方式的选择 | 112 | (一) 装粉高度的计算 | 181 |
| 第二节 整形模结构基本方案示例 | 114 | (二) 模具高度的计算 | 182 |
| 第三节 送料机构 | 117 | 第二节 工艺参数及其影响因素 | 183 |
| 一、装料机构(料斗) | 117 | 一、金属粉末的松装密度及其影响因素 | 183 |
| (一) 扇式料斗 | 117 | (一) 金属粉末的松装密度 | 183 |
| (二) 滑块式料斗 | 118 | (二) 松装密度的影响因素 | 183 |
| (三) 桨叶滚筒式料斗 | 119 | 二、压坯的回弹率及其影响因素 | 183 |
| | | (一) 压坯的回弹率 | 183 |

| | | | |
|--------------------------------|-----|-------------------------|-----|
| (二) 回弹率的影响因素 | 184 | 二、下模板的强度计算 | 220 |
| 三、烧结收缩率及其影响因素 | 184 | 第八章 模具通用化 | 221 |
| (一) 烧结收缩率 | 184 | 第一节 手动模通用件 | 221 |
| (二) 收缩率的影响因素 | 184 | 第二节 浮动模架通用件 | 223 |
| 四、整形余量和回弹量及其影响因素 | 185 | 一、适用于中等长细比压件的浮动模架 | 223 |
| (一) 整形余量和回弹量 | 185 | 二、适用于大长细比压件的浮动模架 | 226 |
| (二) 回弹量的影响因素 | 186 | 三、适用于小长细比压件的浮动模架 | 230 |
| (三) 整形余量的选择依据 | 186 | 第三节 普通液压机顶出式模架通用件 | 232 |
| 五、复压装模间隙和压下率 | 186 | 第四节 冲床顶出式模架通用件 | 235 |
| (一) 复压装模间隙 | 186 | 一、全在工作台上部的模架 | 235 |
| (二) 复压压下率 | 187 | 二、部分在工作台下部的模架 | 238 |
| 第三节 阴模和模套的强度和刚性计算 | 187 | 第五节 自动液压机拉下式模架 | 241 |
| 一、强度计算 | 187 | 第九章 普通压机实现自动化实例 | 251 |
| (一) 单层圆筒阴模 | 187 | 第一节 改装的意义 | 251 |
| (二) 组合圆筒阴模 | 189 | 第二节 冲床的自动化压制 | 251 |
| (三) 阴模基本上不能承受张应力的 组合筒 | 194 | 一、凸轮机构 | 251 |
| (四) 阴模为两拼块的组合筒 | 195 | (一) 凸轮机构的形式 | 251 |
| (五) 强度条件的修正 | 197 | (二) 凸轮机构的设计 | 254 |
| 二、刚性计算 | 198 | 二、拉杆(钩)机构 | 259 |
| (一) 单层圆筒的变形 | 198 | (一) 拉杆机构实例 | 259 |
| (二) 组合圆筒的变形 | 199 | (二) 拉钩机构实例 | 261 |
| (三) 刚性条件 | 200 | 三、送粉机构 | 262 |
| 第七章 模具零件的设计 | 203 | (一) 导板式振动送粉机构 | 262 |
| 第一节 主要零件的设计 | 203 | (二) 凸轮式振动送粉机构 | 263 |
| 一、模具主要零件的一般要求 | 203 | (三) 回转式送粉机构 | 263 |
| (一) 成型模 | 203 | (四) 送粉机构主要零件的技术要求 | 265 |
| (二) 整形模 | 204 | 第三节 液压机的自动化压制 | 266 |
| 二、成型阴模工作孔的形式 | 204 | 一、机械改装 | 266 |
| 三、成型阴模轴向镶拼形式 | 205 | (一) 送粉机构 | 266 |
| 四、成型阴模横向镶拼形式 | 207 | (二) 压制机构 | 266 |
| (一) 拼模结构特点 | 207 | (三) 顶出机构 | 268 |
| (二) 拼模分型原则 | 207 | (四) 工作循环 | 268 |
| 五、手动阴模外形结构形式 | 208 | 二、射流改装示例 | 268 |
| 六、成型芯棒的形式 | 209 | (一) 100吨液压机射流自控改装 | 268 |
| 七、模冲与压套的形式 | 210 | (二) 500吨液压机射流自控改装 | 271 |
| 八、整形阴模工作孔的形式 | 211 | 第十章 模具损伤和压件缺陷分析 | 275 |
| 九、整形芯棒的形式 | 212 | 第一节 模具损伤 | 275 |
| 十、主要零件的材料及技术要求 | 213 | 一、阴模损伤原因及改进措施 | 275 |
| (一) 模具材料的选用 | 213 | 二、芯棒损伤原因及改进措施 | 276 |
| (二) 主要零件的材料及技术要求 | 213 | 三、模冲损伤原因及改进措施 | 278 |
| 第二节 辅助零件的设计 | 215 | 第二节 压件的缺陷分析 | 279 |
| 一、辅助零件的材料和技术要求 | 215 | 一、成型件的缺陷分析 | 279 |
| | | 二、整形件的缺陷分析 | 281 |

第一章 粉末冶金及其制品

第一节 粉末冶金概述

粉末冶金是一门制造金属与合金粉末和以金属粉末(或金属粉末与非金属粉末的混合物)为原料,用成型和烧结制造金属材料或制品的技术。

粉末冶金并不是一种制品,而是一门制造金属制品的技术。用粉末冶金制造金属制品的过程,如图 1-1 所示。

粉末冶金的基本工序是:粉末制造、成型、烧结及烧结后的加工处理。有时要增加熔浸、二次压制和二次烧结等工序。此外,有时还采取一些特殊方法,如制造大型和特殊制品时,采用挤压成型、等静压制、热压制、火花烧结;对于带材,采用粉末轧制等。

现在用粉末冶金法制造的金属材料或制品,可概括地分为两大类:一类为只能用粉末冶金法制造的材料或制品,如烧结硬质合金,铜钨假合金,多孔性金属材料等;另一类是用粉末冶金法制造现正以铸、锻、切削加工大量生产的金属制品,如各种套环、齿轮、凸轮及异形件等。

现在机械制造业中广泛应用的粉末冶金制品,如表 1-1 所示。其中用量最大者是结构零件和轴承类零件。

用粉末冶金法制造结构零件时,有时为获得与用熔铸法制造的金属材料相同的物理-力学性能,需将烧结件进行二次压制和二次烧结,或进行热处理与其它处理。二次压制可在室温下或高温下进行。

用粉末冶金法制造的金属制品,与熔铸金属相比,在晶粒度上有相当大的差异,特别在晶界上的杂质有很大的差别;但也有相同之处,如也有固溶体,共晶,相变等。对于铁碳合金,也能进行淬火、渗碳、渗氮等热处理。

粉末冶金的结构零件和轴承类零件,广泛地应用于各种机械制造业,逐渐地取代一部分铸、锻、切削加工的零件。

随着对烧结的结构零件强度要求的提高,正在研究用合金钢粉制造结构零件;改进传统的粉末冶金工艺和发展粉末冶金锻造。用粉末冶金锻造的制品,其密度近于 100% 的理论密度,即可制造无孔隙的制品。

粉末冶金机械零件之所以能在机械制造业中获得日益广泛的应用,主要是由于:

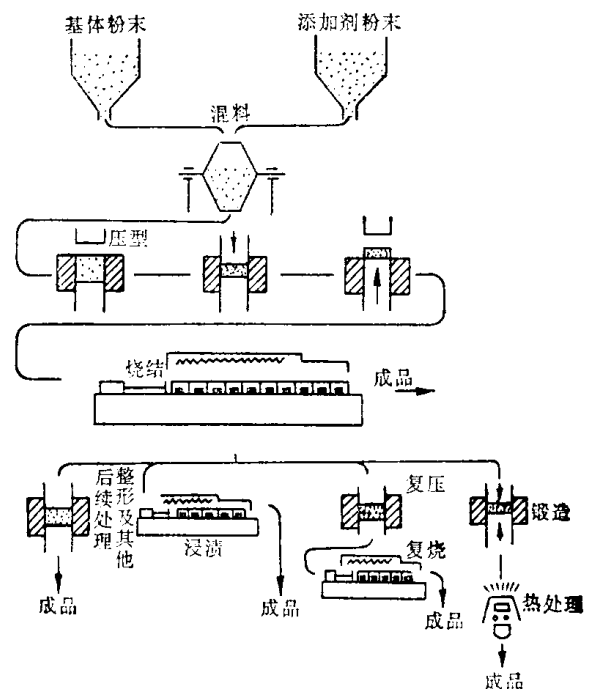


图 1-1 粉末冶金工艺流程

表1-1 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 |
| | 过滤元件及其它多孔性材料 | 1. 过滤元件 由球形青铜、镍、铁、不锈钢及其它金属粉末制造的，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、不锈钢及其它耐腐蚀材料制造的孔隙度达50%的棒材、带材、筒状制品 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 | 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过滤器 飞行器中用作多孔汗冷元件 吸音板，特殊用途的过滤元件 |
| 电 气 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 | W、Mo及其合金与Ta、Nb、Re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、铁铜磷铝、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 含有其它碳化物添加剂的WC-Co基合金 2. 钨-钴-钛合金 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它金属 |

(续)

| 类别 | 种 别 | 特 性 | 应 用 例 |
|--------------------------------------|-----------------|---|---|
| 工与 具制 材料 品 | 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、凿岩钻头等 |
| 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上的各种零件, 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 |
| | 减速和反射壁材 料 | 热中子减速能大, 且吸收断面面积小的物质, 如Be、BeO、Be ₂ C等 | 原子能反应堆 |
| | 结构材料 | 热中子吸收断面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 | |

(1) 节约金属材料, 特别是有色金属材料。

用一般切削加工法制造零件时, 材料利用率约为40~50%, 甚至更低。而粉末冶金法的材料利用率可达95%以上。并且, 在许多情况下, 可用铁基粉末冶金轴套代替铜合金轴套, 从而节省大量有色金属。

据统计, 按目前在X62W铣床上使用的80种粉末冶金零件计算, 以年产5000台计, 一年可节约钢材120吨, 铸铁146吨, 铜合金12.2吨。

(2) 大量减少切削加工量。

例如, 按现行工艺制造1000吨仪器仪表中使用的平均重量为62克的小零件时, 约需146台金属切削机床, 而用粉末冶金法生产时只需9台, 即可减少机械加工量94%左右。同时, 机床占有的厂房作业面积也将随之相应地大为减小。

(3) 提高劳动生产率。

据调查材料, 一般机械制造厂的机械加工工人, 年产量平均为2.54吨。而一个粉末冶金生产工人, 生产同样零件时, 年产量平均为5吨, 生产过程高度自动化时, 可达6.8吨。即粉末冶金工人比机械加工工人劳动生产率可增高1~1.7倍。

(4) 生产成本低。

因为用粉末冶金法制造机械零件时, 工人劳动生产率高, 节约金属, 特别是有色金属, 占用机床少和厂房作业面积小, 所以零件的生产成本将比用一般切削加工法生产时低得多。

例如, 485 柴油机的次摆线泵的外转子, 改用粉末冶金制造后, 单件成本减低了 68.3%, 内转子改用粉末冶金制品后, 单件成本减低了 89.2%。

粉末冶金工艺虽有许多优点, 但也有不足之处, 如零件的大小和形状还受到一些限制; 粉末价格还比较高; 零件的韧性较差等。但这些问题随着粉末冶金技术的发展, 正在逐步获得解决。这是与铸、锻、切削加工工艺相比而言的。对于多种只能用粉末冶金法生产的制品来说, 其对国民经济和科学技术发展的意义将是无法估计的。

第二节 粉末冶金制品的制造过程

一、金属粉末

金属粉末是粉末冶金的原料, 其性能与制造过程和粉末冶金制品的性能密切相关。因此, 严格控制金属粉末的性能是十分重要的。

应该注意, 即使同一种粉末, 制造方法不同时, 其性能也不一样。一般说来, 对金属粉末制造的基本要求是, 粉末性能适合于粉末冶金生产要求; 质量稳定及均匀; 价格便宜。

(一) 金属粉末的制造方法

表 1-2 列出常用金属粉末的制造方法及其特点。

表 1-2 常用金属粉末制造方法及其特点

| 制造方法 | 原 材 料 | 粉末种类 | 主要金属含量 (%) | 颗粒形状 | 粒 度 (μ) | 单机生产率 (吨/小时) | 相对成本 | 应用范围 |
|--------------------------------|--------------------------------|---|---------------|-----------------------------|------------------|-----------------|------|--------------------------------------|
| 气体还原 | 氧化物、 矿石、有机 化合物(如 草酸盐) | W、Mo、 Fe、Ni、 Co、Cu | 97.5~98.5 | 多角状、 针状、复杂 形状的凝集 体 | 0.1~10 | 不大于 0.05 | 1.0 | 硬质合金、灯 丝、触头、复合 材料、永磁合金 及其它 |
| 固体碳还原 | 氧化物、 矿石 | Fe | 97.5~98.0 | 多角状 | 20~400 | 同上 | 0.8 | 机械零件等 |
| 水溶液电解 | Fe、Cu、 Pb、Sn等的 盐类 | Fe、Cu、 Pb、Sn | 99~99.5 | 树枝状、 针状 | 0.1~30 | 0.01~0.015 | 4.0 | 轴承、硬磁合 金、电刷、高密 度零件 |
| 涡旋研磨 | 脆性合金 及延性金属 的丝、小块 及切屑 | Fe、Ni、 Fe-Ni、 Co、Cu、 Ag、Al、 Fe-Al-Ti 等 | 与原材料 相同 | 皿状 | 20~400 | 同上 | 3.0 | 含油轴承、弹 带、磁芯、硬磁 合金、电刷、机 械零件等 |
| 用水蒸汽与 空气的雾化法 | 延性金属 与合金的熔 液 | Al、Fe、 Cu | 96~98 | 带球形的 飞散状 | 同上 | 2~3 | 0.6 | 机械零件、多 孔性制品、电刷、 复合材料、磁芯 等 |
| 用空气、水 和同时进行机 械粉碎的雾化 法 | 同上 | Fe、Ni、 Cu、Al、 Ag、青铜、 黄铜、不锈 钢等 | | | | | | |
| 羰基法 | 金属羰基 化物 | Ni、Fe | 99.5~99.7 | 球状 | 0.1~5 | 0.01~0.015 | 25 | 永磁合金、磁 芯、高纯度合金 等 |

1. 还原法 这是应用最广的一种金属粉末制造方法，铁、镍、钴、铜、钨、钼等的粉末都可用这种方法制造。

还原法是用多种方法还原各种金属化合物，以制造金属粉末的一种方法，一般系指使金属氧化物或氧化物矿石在高温下与还原剂反应的方法。制得的粉末呈多面体形，为海绵状，成型性和烧结性好。粉末的粒度可借原料的粒度和还原条件任意调整，易制得均质的粉末。但是，在粉末制造中缺少必要的精制处理时，在铁粉等中往往包含有未被还原的氧化物。

在还原粉末中生产量最大的是铁粉，目前铁粉大部分由还原法生产。

2. 雾化法 这是一种生产效率较高、成本较低和易于制得高纯度粉末的重要工业方法。

雾化法是利用通过特别设计的喷嘴喷出的气流或水流的能量，粉碎经坩埚漏嘴流出之金属熔液流的一种方法。该法很早就被用于制造 Pb、Sn、Zn、Al、青铜、黄铜等低熔点金属与合金的粉末。近来，随着雾化技术的进展，对于像 18-8 不锈钢、低合金钢、镍合金等的粉末，也已采用雾化法制造。

当前，高密度、高压制性雾化铁粉的生产已引起重视，它为制造高密度、高强度的粉末冶金零件创造了有利的条件。

雾化粉末的颗粒形状，因雾化条件而异。金属熔液的温度越高，球化的倾向越显著。依据雾化的金属，加入微量的 P、S、O 等，以改变金属液滴的表面张力，也可以制成球形颗粒粉。

雾化法的缺点是合金粉末易产生成分偏析，和难以制得小于 300 目的细粉。

3. 涡旋研磨法 这是一种重要的机械粉碎制粉的方法。涡旋研磨机常用的结构示意图，如图 1-2 所示。在水冷的铸铁磨粉室内部，装有相互以反方向旋转，转速约 3000 转/分的叶片或撞击棒，由它使粉粒相互以高速碰撞而粉化。这种粉末颗粒为皿状，成分和密度与原材料相同，成型性和烧结性好。该法生产效率低，动力消耗大及成本高。

4. 电解法 Fe、Ni、Cu、Cr、Zn 等的粉末，都可用电解法制造。但就粉末冶金用的粉末来说，铁粉和铜粉是主要的。

电解铁粉与铜粉，都是用电解金属盐的水溶液制造的。它们有时直接呈粉状析出，有时需将电解析出物进一步机械粉碎，以制成粉末。电解制粉的原理与电解精炼金属相同，但电流密度、电解液的组成与浓度、阴极的大小与形状等电解条件必须适当。

电解粉末纯度高，颗粒呈树枝状或针状，其压制性和烧结性都很好，但生产率低，成本高。纯铜粉大多是用该法制成，电解铁粉由于价格高，仅用于要求纯度高或制造高密度零件的场合。

5. 羰基法 这是一种制造高纯度铁粉和镍粉的方法。它是使 Fe 或 Ni 与 CO 反应，生

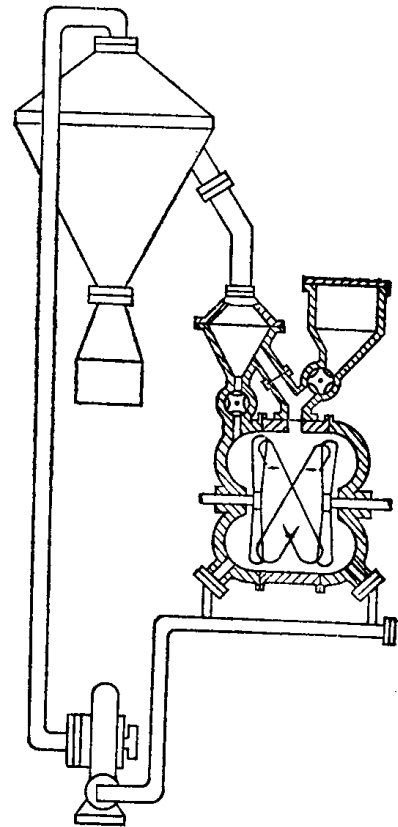


图1-2 涡旋研磨机结构示意图

成液态的羰基铁 $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ 或羰基镍 $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ ，再将这些液体于 250°C 或 180°C 左右的温度下，在分解塔中分解，制得纯铁粉或纯镍粉。

羰基法是制造镍粉的主要工业方法。羰基镍粉粒度细($0.1\sim 5\mu$)，纯度高，工艺性能好，特别是烧结性好。其颗粒大体上为带凸出部的等轴晶体状的不规则形状，有时呈纤维状。

羰基铁粉由于价格昂贵，性能特殊，主要用于制造铁粉芯之类的特殊制品。其颗粒形状近球形和具有层状结构。羰基铁粉含有少量的碳与氮，用特种热处理可将这些杂质完全除去。羰基铁粉退火后很好压制与烧结。

用羰基法也可制造钨粉与铜粉等。

(二) 金属粉末的性能和测定方法

粉末的性能大体可分为五类：

(1) 几何尺寸 颗粒形状、粒度、粒度分布及比表面。

(2) 物理性能 颗粒密度、颗粒内空隙、显微镜组织、硬度、加工硬化性、塑性变形能、表面状态及表面张力等。

(3) 机械性能 松装密度、振实密度、流动性、压制性及成型性等。

(4) 化学性能 纯度及氢中失重等。

(5) 特殊性能 电磁性能、摩擦特性、导热性、耐热性、抗氧化性及耐腐蚀性等。

对粉末冶金来说，主要性能是颗粒形状、粒度、粒度分布、松装密度、压制性、成型性、流动性及化学成份等。

1. 颗粒形状 粉末颗粒形状因粉末的制造方法而异，有不规则状、片状、多面体状、皿状、树枝状、粒状、球状、滴状及纤维状等。颗粒形状对松装密度、流动性、成型性及烧结性等都有影响，是粉末的主要性能之一。常用的金属粉末的颗粒形状，见表1-3。

表1-3 常用金属粉末的颗粒形状

| 颗粒形状 | 金属粉末实例 | 颗粒形状 | 金属粉末实例 |
|------|---------------------|------|-----------------|
| 均一球形 | 羰基铁粉 | 多面体状 | 机械粉碎的Fe、Sn粉 |
| 亚球形 | 用雾化法制造的Cu、Sn、Zn、Al粉 | 皿状 | 用涡旋研磨法制造的Fe、Cu粉 |
| 不规则形 | 用还原法制造的Fe、Cu、W粉 | 片状 | 用捣碎法制造的Al、Cu粉 |
| 树枝状 | 用电解法制造的Cu、Fe、Ag粉 | | |

球形颗粒难以搭桥，故流动性好，松装密度大，充填空隙小，利于烧结，但成型性差。树枝状及不规则形的颗粒，由于比表面大，故成型性好，利于烧结，但流动性差，松装密度小。片状颗粒成型性和烧结性能均差，不宜用于制造粉末冶金零件。

2. 粒度 粉末冶金所用的金属粉末，其颗粒大小约为 $0.1\sim 500\mu$ 。每一颗粒是由许多更小的颗粒堆集而成的。这种更小的颗粒叫做一次颗粒。因此，我们常说的颗粒是指一次颗粒的集合体。

颗粒大小通常用平均直径来表示。粒度测定方法较多，最简便的是广泛应用的筛分法。其系用所通过的筛网目数来表示粒度。目数是指1吋中的网眼数。现在实际使用的最细的筛网为325目，相当于颗粒直径 44μ 。

粉末冶金中实际使用的粉末粒度大体上可分为：

(1) 粗粉 指大于 44μ 的粉末，可用标准筛筛分。

(2) 细粉 小于 44μ 的粉末，不能用标准筛筛分，只能用沉降法、显微镜法等特殊方法进行测定。

(3) 超细粉 指小于 10μ 的粉末。

粗粉粒度的表示方法，如能通过 100 目，但不能通过 140 目者，用 $-100+140$ 目来表示。

3. 粒度分布 充填粉末时，颗粒间空隙越少，压坯强度越好，同时也越容易烧结。适当地选择粒度分布可减少空隙。

一般说来，粒度分布范围宽的粉末，松装密度高，成型性和烧结性好，制品性能也好。粉末中细粉含量高时，可提高压坯棱角的强度，并改进烧结性，但是减低松装密度，使压制性变坏。常用的还原铁粉的粒度分布，见表 1-4。

表1-4 还原铁粉的粒度分布 (目) (%)

| 粉末种类 | +100 | -100 +140 | -140 +200 | -200 +230 | -230 +325 | -325 | 松装密度 (克/厘米 ³) |
|------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|------------------------------|
| | 1 | < 1 | 20~30 | 25~35 | 3~10 | 10~20 | |
| 2 | 约1 | 18 | 20 | 10 | 15 | 约35 | 2.2~2.3 |

筛分析是测定粒度分布的常用的方法。采用扣击式振筛机和标准筛来进行。每套标准筛包括 8 个筛号，其孔径如表 1-5 所示。将标准筛依筛号排列叠装起来，小号筛放在最上层，并配置底盘及盖，将粉末试样倒入最上层，开动振筛机，振动 15 分钟。用重量百分比来表示粒度分布，如表 1-4 所示。粉末试样重量取决于粉末的松装密度，松装密度大于 1.5克/厘米^3 者，取 100 克；小于 1.5克/厘米^3 者，取 50 克。

表1-5 标准筛筛号与筛孔尺寸

| 筛号 | 40* | 60* | 80* | 100* | 150* | 200* | 250* | 325* |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 筛孔尺寸(毫米) | 0.42 | 0.25 | 0.175 | 0.149 | 0.104 | 0.074 | 0.061 | 0.044 |

4. 松装密度与振实密度 粉末倒入容器中，颗粒间形成许多空隙，空隙的总量因倒入粉末的方法而异。按规定的方法，使粉末轻轻地流入一容器，流满后刮平，求得单位体积的粉重，叫做粉末的松装密度。由于粉末在轻轻流入容器时，颗粒间由于摩擦而形成拱桥现象，因此，若施以振动，则拱桥崩散，细粉充填于粗粉颗粒间，粉末所占的体积减小，这时粉末单位体积的重量叫做振实密度。常用金属粉末的松装密度，见表 1-6。

表1-6 常用金属粉末的松装密度 (克/厘米³)

| 金属名称 | Al | Co | Cu | Pb | Mo | Ni | Ag | Sn | W | Fe |
|--------|-------|-------|-------|------|-------|---------|---------|------|------|------|
| 粉末松装密度 | 0.7~1 | 1.5~3 | 0.7~4 | 4~6 | 3~6.5 | 2.5~3.5 | 1.2~1.7 | 1~3 | 5~10 | 1~4 |
| 金属真密度 | 2.7 | 8.9 | 8.93 | 11.3 | 10.2 | 8.9 | 10.5 | 5.75 | 19.3 | 7.85 |

粉末的松装密度对模具设计有直接的关系，特别在自动压制时，采用容积法装粉，松装密度的变化直接影响压件重量。就同一制品来说，粉末松装密度越大，阴模高度可设计得越小。

5. 流动性 这是指粉末流经倾斜面的速度。例如，以 50 克粉末，从圆锥角为 60° 和出口孔径为 2.54 毫米的流速漏斗中流出的时间来表示。流出的时间越短，即粉末流动性越好。

粉末的种类、粒度与粒度分布、颗粒形状、松装密度、吸收的液体（水或油）和气体，以及颗粒的移动方法等，都与流动性有很大的关系。此外，磁性对铁磁性粉末的流动性也有影响。

无论是为了压坯密度均匀，还是为了自动压制快速装粉，都需要粉末有良好的流动性。一般来说，细粉的流动性差，为此，可适当加入粘结剂，将细粉粘结成较大的球形颗粒，以改善粉末的流动性。

6. 压缩性与成型性 压缩性是指粉末在一定单位压力下，可压缩的程度，以压坯密度表示。相同的单位压力下，密度越高，表明粉末的压缩性越好。

成型性是指粉末压坯强度的高低。在相同单位压力下，或在相同密度情况下，用压坯的抗弯强度的大小来表示粉末的成型性。抗弯强度的试验装置，如图 1-3 所示。

若施加的负荷为 P （公斤），支点间跨距为 L （毫米），压坯试件的厚度为 h （毫米），宽度为 b （毫米），则压坯的抗弯强度 $\sigma_{\text{弯}}$ 为

$$\sigma_{\text{弯}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{PL}{bh^2} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

粉末的压缩性和成型性统称为压制性。压制性与粉末的粒度、粒度分布、颗粒形状、表面状态，以及塑性有关。粉末中添加少量的石蜡、硬脂酸锌，以及其它润滑剂和掺入塑性好的粉末，可改善粉末的成型性。

7. 杂质与氢中失重 粉末的纯度，也就是杂质的含量，对制品性能有显著的影响。

粉末中的杂质，因制造方法而异。羰基粉末和电解粉末的杂质含量最少，还原粉末中的氧化物（包括酸不溶物）较多，雾化粉根据不同的工艺，颗粒表面含有不同程度的氧化物。

粉末中含有的固体杂质，大体可分为四类：

（1）无关杂质颗粒 主要来源于原料。例如，由矿石制成的粉末中，往往残留 SiO_2 ， Al_2O_3 ， MgO 等。

（2）粉末颗粒内含有的杂质 如 Fe 中的 Mn，Cu 中的 Pb，Co 中的 Ni 等。

（3）颗粒表面的杂质 如表面的氧化物。

（4）颗粒内呈化合物或固溶状态的杂质。

这些杂质，固然有有益者，如 Fe 中的 Mn。但尤应注意有害处，如 SiO_2 、 Al_2O_3 等杂质，含量即使仅 1%，都将是有害的。因这些氧化物硬，既会擦伤压模的模壁，又对制品性能不利；固溶性杂质，将使粉粒变硬，有碍于粉末的压制性，并且影响电磁制品的性能；颗

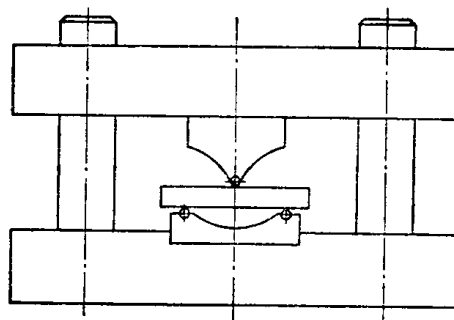


图1-3 抗弯强度的试验装置

粒表面的氧化物，对粉末的压制性不利，并且是含碳合金烧结时脱碳的重要原因之一。

除固态杂质外，粉末中还会有气态的杂质。例如，溶解于粉末中的气体，吸附的气体，机械裹入的气体（制造中、混合中、装粉时混入的），加热时固体杂质分解产生的气体，以及由添加剂（如润滑剂）产生的气体等。

由于粉末比表面大，故不同程度地含有呈表面氧化物的氧。为了测定含氧量，一般采用在氢气流中高温还原的方法。还原后的失重百分比，叫做氢中失重值。但是，该法不能使 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 等还原；此外，粉末中含有C、S时，发生脱碳和脱硫；还有某些吸附的液体或气体逸散，这些都影响含氧量测定的准确性。

表1-7列举了几种铁粉的化学分析。

表1-7 几种铁粉的化学分析

| 含量 (%) 组元 | 类别 | 还 原 粉 | | 雾 化 粉 | 电 解 粉 |
|-----------------|----|-------|--------|-------|-------|
| | | 矿石还原粉 | 铁鳞还原粉 | | |
| Fe | | 98.0 | 98.0 | 98.5 | 99.0 |
| C | | <0.10 | 0.02 | 0.10 | 0.05 |
| O | | <0.80 | 1~1.50 | 0.80 | 0.50 |
| SiO_2 | | 0.20 | 0.20 | — | — |
| Si | | — | — | 0.10 | 0.02 |
| S | | 0.015 | 0.004 | 0.03 | 0.01 |
| P | | 0.015 | 0.004 | 0.03 | 0.01 |
| Mn | | — | 0.35 | 0.02 | 0.06 |

（三）粉末的预处理与混合

1. 粉末的预处理 即使在同一条件下制造的同一种粉末，其纯度和粒度分布也是有差别的，因此，在使用前须将其混合均匀。另外，原料粉末在运输和贮存中会生成大量锈块或凝结成块状，一般要用筛子将这些块状物筛出。当对粒度分布有要求时，需将粉末过筛后，按所要求的粒度分布来进行混合。

为了去除粉末表面的氧化物和吸附的气体，消除粉末颗粒的加工硬化，必须进行还原退火处理。例如，将铜粉在氢中于 300°C 左右还原退火，将铁粉在氢中于 $600\sim 900^\circ\text{C}$ 还原退火，这时粉末颗粒表面因还原而呈现活化状态，并细颗粒变粗，从而改善粉末的压制性。氢中处理时，还有脱氧、脱碳、脱磷、脱硫等反应，提高了粉末的纯度。

2. 粉末的混合 相同化学组成的粉末的混合，叫做合批。两种以上的化学组元相混合，叫做混合。混合的目的是使性能不同的组元形成均匀的混合物，以利压制和烧结时状态均匀一致。

混合时，除基本原料粉末外，其它添加组元有以下三类：

- （1）合金组元，如铁基中加入碳、铜、钨、锰、硅、磷、钒、镍、铬及硼等粉末。
- （2）游离组元，如摩擦材料中加入的 SiO_2 、 Al_2O_3 及石棉粉等粉末。
- （3）工艺性组元，如作为润滑剂的硬脂酸锌、石蜡、油酸及机油等；作为粘结剂的汽油橡胶溶液、石蜡及树脂等；作为造孔用的氯化铵等。

混合一般是在空气中进行，但为了防止氧化，有的粉末需要在真空或液体中进行。混合

时间根据不同粉料和设备，有的10分钟左右就够了，有的几十个小时还不均匀。一般来说，混合时间长并不好，因它将使粉末产生加工硬化，或改变了粒度分布及颗粒形状，不利于压制性。

对于铁、铜之类的软金属粉末，因其容易加工硬化，故不宜采用强烈的混合，而应采用较温和的混合。常用的混料机有双锥型（图1-4），Y型或V型（图1-5）。

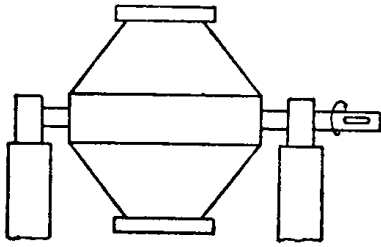


图1-4 双锥型混料机

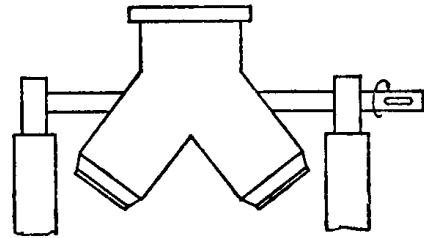


图1-5 Y型混料机

混合好的粉末通常需要过筛，以除去较大的夹杂和润滑剂的块状凝聚物。混好的粉料尽可能及时使用，否则应密封贮存起来，运输时应减少振动，防止混合料发生偏析。

二、粉末成型

将处理过的粉末经过成型工序，得到具有既定形状与强度的粉末体，叫做压坯。在成型工艺中，采用最多的是封闭钢模冷压法。

（一）封闭钢模冷压法

封闭钢模冷压成型是指在常温下粉料在封闭的钢模中（指刚性模），按规定的单位压力，将粉料制成压坯的方法。

这种成型过程通常由下列工步组成：称粉、装粉、压制、保压及脱模。

1. 称粉与装粉 称粉就是称量成型一个压坯所需的粉料的重量或容量。采用非自动压模和小批量生产时，多用重量法；大量生产和自动化压制成型时，一般采用容量法，且是用压模型腔来进行定量。但是，在生产贵金属制品时，称量的精度很重要，甚至大量生产时都采用重量法。

重量法称粉时，一般采用工业天平进行称量。将称好的单件粉重，装于压模型腔中，手工弄平后，进行压制。

自动压制成型时，将相当数量的粉料，贮存于圆锥形或角锥形的料仓中，料仓与送粉器相连通，由送粉器自动地将粉末装于阴模型腔中，这时采取容量定量。

装粉方式有三种，如图1-6所示。落入法（图1-6a）是送粉器移送到阴模和芯棒形成的型腔上，粉末自由落入型腔中。吸入法（图1-6b）是下模冲位于顶出压坯的位置，送粉器被移送到型腔上，下模冲下降（或阴模和芯棒升起）复位时，粉料被吸入型腔中。多余充填法（图1-6c）是芯棒下降到下模冲的位置，粉末落入阴模型腔内，然后芯棒升起，将多余的粉末顶出，并被送粉器刮回，它适用于较薄壁深腔的压模。

2. 压制 压制是按一定的单位压力，将装在型腔中的粉料，集聚成达到一定密度、形状和尺寸要求的压坯的工步。