

粉末冶金模具 设计手册

第3版

印红羽 张华诚 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

粉末冶金模具设计手册

第3版

印红羽
张华诚 主编



机械工业出版社

本手册共分 15 章,系统地介绍了粉末冶金压坯设计、粉末冶金模具设计原理、粉末成形压力机的选择、压制成形模架、成形模结构设计、精整模具结构设计、成形模具结构示例、模具零件的设计、模具主要零件的尺寸计算、粉末冶金模具设计实例、金属注射成形模具设计、粉末冶金模具的材料选择与制造、模具常见问题和损伤及压坯缺陷分析、粉末冶金模具计算机辅助设计与制造等。为了方便模具设计人员的工作,还对粉末冶金零件的制造工艺进行了简要介绍,并附有丰富的相关标准和数据资料。

本手册可供粉末冶金模具的设计人员使用,也可供高等学校、高等专科学校师生及相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末冶金模具设计手册/印红羽,张华诚主编.—3 版.—北京:机械工业出版社,2012.11

ISBN 978-7-111-39289-7

I. ①粉… II. ①印…②张… III. ①粉末冶金模具—设计—手册
IV. ①TF370.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 178346 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘彩英 责任编辑:刘彩英 版式设计:霍永明

责任校对:张媛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2013 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

169mm×239mm·42 印张·3 插页·966 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39289-7

定价:99.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

第3版前言

本手册第1版于1978年由机械工业出版社出版,由《粉末冶金模具设计手册》编写组编写,由主编单位北京市粉末冶金研究所的倪明一、副主编单位上海粉末冶金厂的张华诚、徐联华负责编写并审定,参加编写的人员有(按姓氏笔画):卞锦顺、冯国光、龙炳强、朱巧根、张颂钊、陈淑华、韩凤麟和蒋祖福。全书共441千字。

本手册第2版2002年由机械工业出版社出版,北京市粉末冶金研究所的印红羽和上海粉末冶金厂的张华诚为主编,第一章由韩凤麟、印红羽编写,第二章、第三章由印红羽编写,第四章、第五章、第六章由张华诚编写,第七章、第八章、第九章由张华诚、徐鸿昶编写,第十章由苏学宽、印红羽编写,第十一章由韩凤麟编写,第十二章由印红羽、贾成厂编写,第十三章由毕景维编写,附录由印红羽、张华诚和韩凤麟编写,全书最后由印红羽和张华诚统一审定。全书共831千字。

本次为第3版,由北京市粉末冶金研究所的印红羽和上海粉末冶金厂的张华诚为主编,在第2版的基础上,对全书的章节和部分内容进行了修改、增补和删除。第1章、第2章、第3章由印红羽编写、修改,第4章、第10章由张华诚、印红羽编写、修改,其中温压压力机部分内容由韩凤麟编写,第5章、第6章、第7章、第8章和第11章由张华诚编写、修改,第12章由毕景维修改,第13章由印红羽、张华诚修改,第14章由张华诚、韩凤麟编写、修改,附录由印红羽编写、修改,参加编写、修改的还有徐鸿昶、苏学宽、贾成厂、高清德、余培良、郝志红、傅成敏、周晖、罗晓等同志。全书最后由印红羽和张华诚统一审定。

编 者

目 录

第3版前言

第1章 粉末冶金零件制造工艺概述	1
1.1 粉末冶金工艺简介	1
1.1.1 可制取多组元材料	1
1.1.2 可制取多孔材料	2
1.1.3 可制取硬质合金和难熔金属材料	2
1.1.4 可高效率地制造形状复杂的精密零件	2
1.2 粉末冶金零件制造工艺基础	3
1.2.1 原料粉末	3
1.2.2 粉末冶金零件常规制造工艺	6
1.2.3 粉末冶金零件其他成形工艺	10
1.2.4 几种粉末冶金成形工艺的比较与选取	13
1.3 粉末冶金零件材料技术性能特点简介	15
1.3.1 粉末冶金零件材料与孔隙相关的材料特性	15
1.3.2 粉末冶金零件材料的力学性能特征	16
1.3.3 粉末冶金零件材料的工艺性能特征	16
1.4 粉末冶金零件制造工艺与常规金属成形工艺的比较	18
1.4.1 粉末冶金工艺和铸造工艺比较	18
1.4.2 粉末冶金工艺和热模锻及板料冲裁工艺比较	20
1.4.3 粉末冶金工艺和金属切削加工比较	21
第2章 粉末冶金压坯设计	23
2.1 烧结零件材料和密度的确定	24
2.1.1 烧结金属含油轴承及其相关标准	24
2.1.2 烧结钢和烧结不锈钢结构零件的密度、材料及其相关标准	28
2.1.3 烧结有色金属零件密度、材料及其相关标准	43
2.1.4 烧结磁性材料和电工合金	51
2.1.5 金属注射成形(MIM)零件材料及其相关标准	54
2.1.6 粉末锻造(P/F)零件材料及其相关标准	59
2.2 压坯密度分布及其均匀性分析	62
2.2.1 压坯的密度分布	62
2.2.2 压坯的壁厚与密度分布	63
2.2.3 用凸凹状模冲成形的压坯密度分布	63
2.2.4 用阴模内腔带台阶面成形的压坯密度分布	63
2.2.5 用组合模冲成形的压坯密度分布	63
2.3 压坯形状的确定	64

2.3.1 压坯形状分类	65
2.3.2 压坯形状设计	66
2.3.3 特殊形状零件的成形	72
2.3.4 利用组合成形法简化压坯的复杂形状	75
2.3.5 压坯尺寸限制	78
2.4 烧结制品尺寸精度和位置精度的确定	78
2.4.1 烧结制品的尺寸精度	78
2.4.2 烧结制品的位置精度	80
2.4.3 烧结制品的表面粗糙度	83
2.5 烧结齿轮压坯与凸轮、链轮等压坯设计	84
2.5.1 烧结齿轮压坯形状的确定	84
2.5.2 烧结凸轮、链轮压坯形状的确定	85
2.5.3 烧结齿轮与链轮的尺寸精度、几何公差和表面粗糙度	86
2.6 金属注射成形(MIM)坯的形状设计	89
2.6.1 金属注射成形(MIM)零件设计要点	89
2.6.2 金属注射成形(MIM)零件成形坯形状设计	90
第3章 粉末冶金模具设计原理	94
3.1 模架和模具的基本构造与动作	94
3.1.1 模架和模具的基本构造	94
3.1.2 模架和模具的基本动作	95
3.2 压制成形过程和精整过程中力的分析	96
3.2.1 压制成形压力	96
3.2.2 侧压力和剩余侧压力	96
3.2.3 脱模压力	98
3.2.4 精整压力	99
3.2.5 压力中心	101
3.3 等高(无台阶面)压坯密度分布与压制方式的关系	104
3.3.1 压坯密度分布规律	104
3.3.2 无台阶面柱状实体类压坯的压制方式与密度分布	106
3.3.3 带孔无台阶面柱体类压坯的压制方式与密度分布	111
3.3.4 压制方式的选择	116
3.4 不等高(带台阶面)压坯成形模具的设计原理	119
3.4.1 粉末充填系数相同或相近	119
3.4.2 压缩比相同或相近	121
3.4.3 压制速率相同	122
3.5 组合模具设计原理	122
3.5.1 多台阶面压坯的组合模冲设计	122
3.5.2 斜面压坯的组合模冲设计	125
3.5.3 曲面压坯的组合模冲设计	127
3.5.4 斜齿轮压坯的压模设计	128

3.6 粉末冶金模具尺寸设计原则	128
3.6.1 决定模具尺寸的步骤	128
3.6.2 对模具变形量的考虑	130
第4章 粉末成形压力机的选择	132
4.1 粉末成形压力机的选择依据	132
4.1.1 对成形压力机的基本要求	132
4.1.2 成形压力机的选择依据	133
4.2 成形压力机简介	137
4.2.1 机械式粉末成形压力机	137
4.2.2 液压式粉末成形压力机	141
4.2.3 机械式与液压式粉末成形压力机的比较	143
4.3 精整压力机简介	144
4.3.1 全自动机械式精整压力机	144
4.3.2 卧式全自动液压精整压力机	145
4.4 常用压力机的规格与技术参数	146
4.4.1 国内常见粉末成形压力机规格及技术参数	146
4.4.2 国外常见粉末成形压力机规格及技术参数	153
4.5 普通可倾式压力机(冲床)自动化改造	160
4.5.1 凸轮机构	161
4.5.2 拉杆(钩)机构	167
4.5.3 送粉机构	170
4.6 温压用成形压力机简介	173
4.6.1 粉末加热器	173
4.6.2 装粉靴	175
4.6.3 模架的加热、冷却和绝缘	175
4.6.4 常见故障的排除	176
第5章 压制成形模架	181
5.1 粉末成形模架基本类型	181
5.2 普通压力机用的成形模架	182
5.2.1 可倾式压力机(冲床)用成形模架	182
5.2.2 普通液压机用成形模架	184
5.3 专用粉末成形机用成形模架	185
5.3.1 粉末成形液压机用等高类压坯的拉下式成形模架	185
5.3.2 粉末成形液压机用带台阶类压坯的成形模架	186
5.3.3 机械式粉末成形机用“上一下一”式成形模架	187
5.3.4 机械式粉末成形机用“上一下二”式成形模架	188
5.3.5 机械式粉末成形机用“上二下三”式成形模架	189
5.3.6 带液压闭环控制系统的多层成形模架	190
5.4 精整模架示例	192
5.4.1 可倾式机械压力机用精整模架	192

5.4.2 粉末成形液压机用精整模架	192
5.4.3 机械式粉末精整压力机用“上二下一”式精整模架	192
5.4.4 机械式粉末精整压力机用“上一下二”式精整模架	194
第6章 成形模结构设计	196
6.1 压坯形状分类及补偿装粉	197
6.1.1 压坯形状分类	197
6.1.2 补偿装粉	199
6.2 成形模结构方案	202
6.2.1 常见成形模结构	203
6.2.2 特殊动作的成形模结构	210
6.3 成形模主要零件连接方式	214
6.3.1 阴模的连接	214
6.3.2 上模冲的连接	216
6.3.3 下模冲的连接	217
6.3.4 芯棒的连接	218
6.3.5 导柱与模板的连接	219
6.4 模具浮动结构	220
6.4.1 弹簧浮动	220
6.4.2 气压浮动	228
6.4.3 液压浮动	231
6.5 辅助机构	231
6.5.1 脱模复位结构	231
6.5.2 调节装粉结构	234
第7章 精整模具结构设计	237
7.1 精整方式的选择	237
7.2 精整模具常见结构示例	239
7.3 送料机构	243
7.3.1 装料机构(料斗)	243
7.3.2 贮料机构(料仓)	248
7.3.3 供料机构	251
第8章 模具结构示例	257
8.1 成形模具结构示例	257
8.1.1 I类零件压坯的成形模具	257
8.1.2 II类零件压坯的成形模具	265
8.1.3 III类零件压坯的成形模具	278
8.1.4 IV类零件压坯的成形模具	289
8.1.5 V类零件压坯的成形模具	297
8.1.6 特殊形状类零件压坯的成形模具	302
8.2 精整模具结构示例	326
8.2.1 通过式精整模具	326

8.2.2 全精整式精整模具	327
第9章 模具零件的设计	341
9.1 模具主要零件的设计	341
9.1.1 对模具主要零件的一般要求	341
9.1.2 成形阴模的形式及技术要求	342
9.1.3 成形芯棒的形式及技术要求	345
9.1.4 成形模冲和精整模冲的形式及技术要求	345
9.1.5 精整阴模的形式及技术要求	348
9.1.6 精整芯棒的形式及技术要求	350
9.2 辅助零件的设计	351
9.2.1 辅助零件的结构形式和技术要求	351
9.2.2 斜楔机构的形式及其设计	357
9.2.3 模板的形式及其设计	367
9.3 模具零件的通用化	370
9.3.1 模板类零件	371
9.3.2 导柱、导套类零件	375
9.3.3 压盖、压垫类零件	377
第10章 模具主要零件的尺寸计算	380
10.1 尺寸计算方法	380
10.1.1 径向尺寸的计算	380
10.1.2 轴向尺寸的计算	383
10.2 与模具设计有关的工艺参数	385
10.2.1 金属粉末的松装密度及其影响因素	385
10.2.2 压坯的回弹率及其影响因素	386
10.2.3 烧结收缩率及其影响因素	387
10.2.4 精整余量和回弹量及其影响因素	388
10.2.5 复压装模间隙和压下率	389
10.3 阴模与模套的强度和刚性计算	390
10.3.1 强度计算	390
10.3.2 刚性计算	402
10.3.3 阴模和模套的强度计算示例	407
10.3.4 阴模壁厚推荐数据	409
第11章 粉末冶金模具设计实例	411
11.1 气门导管零件的模具设计示例	411
11.1.1 产品分析	411
11.1.2 制造工艺及模具设计和参数选择	412
11.1.3 设计计算	413
11.1.4 模具结构设计及分析	414
11.2 活塞零件的模具设计示例	415
11.2.1 产品分析	415

11.2.2 制造工艺及模具设计参数选择	415
11.2.3 设计计算	415
11.2.4 模具结构设计	415
11.3 齿轮零件的模具设计示例	419
11.3.1 汽车发动机分配泵传动齿轮模具设计示例	419
11.3.2 电动工具传动齿轮模具设计示例	422
11.4 连杆零件(无需精整)的模具设计示例	427
11.4.1 产品分析	427
11.4.2 设计计算	427
11.4.3 模具结构设计	428
11.5 同步器齿毂的模具设计示例	428
11.5.1 零件的工况调查及其材料牌号选择	429
11.5.2 确定压坯的形状、精度和制造工艺	430
11.5.3 成形设备的选择	430
11.5.4 模具设计参数的选择	431
11.5.5 模具主要零件径向尺寸计算	431
11.5.6 成形模具结构设计及压坯裂纹的剖析与对策	432
第12章 金属注射成形(MIM)模具设计	435
12.1 金属注射成形模具设计简介	436
12.1.1 金属注射料的特点	436
12.1.2 金属注射成形模具的基本结构与形式	437
12.1.3 模具设计	439
12.2 带外侧凹制品的模具设计	459
12.2.1 瓣合模	459
12.2.2 侧向抽芯模具	466
12.3 带内侧凹制品的模具设计	467
12.3.1 顶杆驱动方式	467
12.3.2 镶拼型芯驱动方式	468
12.3.3 滑块(型芯)驱动方式	468
12.3.4 熔芯成形法	468
12.4 金属注射成形模具的材料选择与设计实例	471
12.4.1 金属注射成形模具的材料选择	471
12.4.2 金属注射成形模具的设计实例	472
12.5 金属注射成形新工艺及其模具技术简介	473
12.5.1 金属微注射成形技术(μ -MIM)	474
12.5.2 气(液)体辅助成形技术	474
12.5.3 多组分材料复合注射成形技术	475
12.5.4 注射毛坯的加工装配技术	476
12.5.5 热流道技术	476
12.5.6 快速模具技术	477

12.5.7 熔芯成形技术	477
第13章 粉末冶金模具的材料选择和制造	478
13.1 模具材料的选择和热处理	478
13.1.1 模具制造的一般要求	478
13.1.2 模具材料的选择	479
13.1.3 模具材料的热处理	481
13.2 模具主要零件的制造	483
13.2.1 模具加工基准的确定	483
13.2.2 模具零件的加工工艺流程	484
13.2.3 模具零件加工的关键工艺	484
13.2.4 模具、模架装配及其维修	493
13.3 模具零件的典型加工工艺举例	495
第14章 模具常见问题和损伤及压坯缺陷分析	503
14.1 模具常见损坏的原因和改进措施	503
14.2 压坯裂纹形成的原因与对策	507
14.2.1 粉末混合物中润滑剂含量对裂纹形成的影响	507
14.2.2 模具设计、制造和安装对压坯裂纹形成的影响	508
14.2.3 在压制过程中可能产生的压坯裂纹等缺陷及对策	508
14.3 粉末移送机构和模冲加压速度对压坯缺陷的影响	515
14.3.1 粉末移送机构对压坯缺陷的影响	515
14.3.2 模冲加压速度不当引发压坯中的裂纹	517
14.3.3 拉下式压力机模架系统的设计	519
14.4 常见压坯、精整件的缺陷	520
14.4.1 常见的压坯缺陷及改进措施	520
14.4.2 压制过程中压坯裂纹分析	520
14.4.3 常见精整件的缺陷分析及改进措施	522
第15章 粉末冶金模具计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)技术	524
15.1 CAD/CAM 技术简介	524
15.1.1 CAD/CAM 基本概念	524
15.1.2 CAD/CAM 系统硬件及软件	526
15.2 粉末冶金模具 CAD/CAM 系统简介	529
15.2.1 模具 CAD/CAM 系统的结构与功能	529
15.2.2 粉末冶金产品图形输入	532
15.2.3 根据产品工艺性进行压坯设计	533
15.2.4 结合工艺方案的选择进行成形工艺参数计算	533
15.2.5 压力机的选择	535
15.2.6 模具结构设计与优化	536
15.2.7 装配图的生成	536
15.2.8 图形的输出	536
15.2.9 CAD/CAM 一体化	536

附录	538
附录 A 粉末冶金烧结金属材料性能标准	538
附录 B 粉末冶金材料性能测试方法标准介绍	549
B.1 可渗性烧结金属材料密度的测定	549
B.2 可渗性烧结金属材料开孔率的测定	550
B.3 可渗性烧结金属材料含油率的测定	551
B.4 烧结金属衬套径向压溃强度测定方法	553
B.5 烧结金属材料(不包括硬质合金)拉伸试样	554
B.6 烧结金属材料和硬质合金弹性模量的测定	558
B.7 烧结金属材料(不包括硬质合金)横向断裂强度的测定方法	558
B.8 致密烧结金属材料与硬质合金密度的测定方法	559
B.9 可渗性烧结金属材料气泡试验孔径的测定	562
B.10 可渗性烧结金属材料流体渗透性的测定	564
B.11 烧结金属材料(不包括硬质合金)表观硬度和显微硬度的测定	569
B.12 渗碳、碳氮共渗的烧结铁基材料表面硬化层深度的测定(显微硬度法)	577
B.13 烧结金属材料(不包括硬质合金)无缺口冲击试样	579
附录 C 粉末冶金零件用原、辅材料的技术条件及相关标准	580
C.1 铁粉	580
C.2 合金钢粉与不锈钢粉	582
C.3 铜粉	589
C.4 镍粉	591
C.5 石墨	592
C.6 其他辅助材料	592
附录 D 部分金属粉末性能测试方法国际标准	593
D.1 金属粉末 松装密度的测定 第1部分:漏斗法	593
D.2 金属粉末 松装密度的测定 第2部分:斯科特(Scott)容量计法	596
D.3 金属粉末 振实密度的测定	598
D.4 金属粉末 流动性的测定标准漏斗法(霍尔流量计法)	599
D.5 金属粉末 (不包括硬质合金粉末)单轴向压缩时压缩性的测定	601
D.6 金属粉末 用矩形压坯横向断裂测定压坯强度	604
D.7 金属粉末 干筛分法测定粒度	607
D.8 金属粉末 粒度分布的测定(液体中重力沉降光衰减法)	608
D.9 金属粉末 在稳态流动条件下粉末层的透气性试验外层表面区域的测定	613
D.10 金属粉末 用还原法测定氧含量 第1部分:总则	616
D.11 金属粉末 用还原法测定氧含量 第2部分:还原时的质量损失(氢损)法	618
D.12 金属粉末 用还原法测定氧含量 第3部分:可被氢还原氧	621
D.13 金属粉末 用还原法测定氧含量 第4部分:还原提取法测定总氧含量	626
D.14 金属粉末 铁、铜、锡和青铜粉末中酸不溶物含量的测定	628
D.15 含润滑剂的金属粉末混合物 润滑剂含量测定 索格利特(Soxhlet)萃取法	630
附录 E 铁基结构材料的密度、孔隙对照表和压缩比计算表	632

附录 F 粉末冶金用压力机术语中英文对照表	633
附录 G 模具设计与制造常用数据与资料	638
G.1 常用模具材料技术标准	638
G.2 黑色金属硬度及强度换算值	643
G.3 常用面积、体积的计算方法	649
附录 H 常用法定计量单位及其换算	653

第1章 粉末冶金零件制造工艺概述

1.1 粉末冶金工艺简介

粉末冶金工艺既是制取金属材料的一种冶金方法，又是制造机械零件的一种加工方法。作为特殊的冶金工艺，可以制取用普通熔炼方法难以制取的特殊材料。作为少无切削工艺之一，可以制造各种精密的机械零件。

粉末冶金制造工艺是从制取金属粉末开始，并将金属粉末与金属或非金属粉末（或纤维）混合，经过成形、烧结，最终制成粉末冶金制品——材料或零件。根据需要，对粉末冶金制品还可进行各种后续处理，如熔浸、二次压制、二次烧结和热处理、表面处理等工序。此外，当制造复杂形状的零件时，可以采用金属注射成形（MIM）和温压工艺；当制造大型和特殊制品时，可以采用挤压成形、等静压制、热压制、电火花烧结；对于带材，还可以采用粉末轧制。

粉末冶金工艺之所以能够在机械制造、汽车、电器、航空、核能等工业中获得广泛的应用，主要是基于该工艺的如下特点：

1.1.1 可制取多组元材料

粉末冶金工艺可制取合金与假合金，发挥每种组元各自的特性，使材料具有良好的综合性能。由于各组元密度或熔点相差悬殊，用熔炼的方法制取时，易产生偏析或低熔点组元大量挥发等问题，以致难以制成。粉末冶金采用混料或预制合金粉等方法，材料成分均匀，烧结温度低于熔炼温度，基体金属不熔化，防止了密度偏析。低熔点组元的液相被均匀地吸附在多孔基体骨架内，不致大量流失，常见的多组元材料有：

（1）铁基、铜基结构零件材料 当零件选用较高的密度时，铁基结构零件的材料力学性能与碳钢，甚至合金钢相当。

（2）摩擦材料 以金属组元作基体（如铁、铜），加入提高摩擦因数的非金属组元（如氧化铝、二氧化硅、铸石粉等），以及抗咬合、提高耐磨性能的润滑组元（如锡、石墨等），制成有良好综合性能的摩擦材料，用作动力机械的离合器片和制动片。

（3）电工触头材料 将高熔点的组元作为耐电弧的基体（如钨、石墨），加入电导率高的组元（如铜、银），做成有良好综合性能的触头材料，用于电器开关中的触头。

（4）烧结减磨材料 用预合金铜或铜合金粉或混合粉，经松装烧结到钢背，轧制或压制成形，并加压烧结经扩散焊接到钢体上，制成双金属轴瓦、侧板和柱塞泵缸体，可显著减少材料中重金属的偏析，提高材料的减磨性能。

（5）金刚石——金属工具 用金属粉末（如钴、镍、铜、铁、钨、碳化钨等）作为胎体的主要原料，经熔浸或热压等工艺，将金刚石颗粒或粉末粘结或孕镶在用于加工

的型面中，做成各种金刚石工具和磨具。

(6) 纤维增强复合材料 用金属纤维、碳纤维、单晶须等，与金属粉末混合后，经成形（压制或轧制）、烧结制成复合材料，使材料的强度及耐磨性显著提高。

1.1.2 可制取多孔材料

熔炼材料通常是致密的，有时存在不可控制的气孔、缩孔，它们是材料的缺陷，无法利用。而粉末冶金工艺制造的零件材料，基体粉末不熔化，粉末颗粒间的空隙可以留在材料中，且分布较均匀。通过控制粉末粒度和颗粒形状、成形压力及烧结工艺，可获得预定的孔隙大小及孔隙度的多孔材料。

(1) 过滤材料 利用预定孔隙及孔隙度的多孔材料，过滤各种流体。可根据过滤介质的要求，选用不同的金属粉末。常用的有青铜、不锈钢、镍、钛等多孔金属过滤元件。

(2) 热沉材料 利用材料空隙，从零件内部连续渗透冷却液体，或事先渗入低熔点金属，在高温工作条件下，渗入的液体或低熔点金属从零件表面蒸发，带走大量热量，以冷却高熔点基体材料制成的零件，这类材料可用作燃气轮机叶片、钨浸铜火箭喷管等。

(3) 减磨材料 利用孔隙浸渍润滑油、硫或聚四氟乙烯，做成有良好自润滑性能的材料，如含油轴承及金属塑料轴承、密封环、活塞环、导向环等。

此外，利用孔隙还可制成减振、消声、绝热、阻焰、催化等材料。

1.1.3 可制取硬质合金和难熔金属材料

钨、钼、钽、铌、锆、钛及其碳化物、氮化物等材料熔点在 1800℃ 以上，用熔炼方法制取，会遇到熔化和炉衬材料制备困难等问题；用粉末冶金工艺，可利用压坯自身电阻加热，在真空或保护气氛中烧结，避免了制备耐高温炉衬材料的困难。因此，粉末冶金工艺是制取难熔金属及合金的最佳方法。

(1) 硬质合金 用高熔点、高硬度的钨、钛、钼、铌的碳化物为基体，用钴、镍、铁等作粘结相，做成各种牌号的硬质合金，用作刀具、模具、凿岩工具及耐磨零件等。

(2) 难熔金属材料 钨、钼材料可作电热元件、极板及耐高温材料。利用钨的高密度，可做自动手表中的摆锤、手机中的振子等高密度制品。利用钼的大电容量，可做体积小、电容量大的电熔器。

1.1.4 可高效率地制造形状复杂的精密零件

粉末冶金工艺对形状不敏感，凸轮、链轮、齿轮等都可以用粉末冶金工艺来制造。用传统机械加工工艺生产的组合件，例如包含凸轮和齿轮、几个不同的齿轮等，不仅需要机械加工，还需要用装配的方法将它们连接在一起制成，而改用粉末冶金工艺制造，就可以简化工艺，将不同形状进行整合，设计成一体的、多台阶面的粉末冶金零件，一次成形烧结或组合烧结而成，从而显著降低材料损耗、省掉组装工序，减少生产成本。

并且在材料性能符合使用要求的同时,制品的形状和尺寸已达到或接近最终成品的要求,无需或只需少量切削加工。

粉末冶金工艺生产机械零件,不论零件的形状简单还是复杂、尺寸公差或几何公差要求是否严格,生产效率都很高,每小时几百件到几千件,生产成本相对降低。为了更精密地控制尺寸公差或几何公差,粉末冶金零件也可以进行少量机械加工或精整、复压,以使零件达到更高的精度和强度。

1.2 粉末冶金零件制造工艺基础

1.2.1 原料粉末

采用粉末冶金工艺制造零件,常用的原料有金属粉末、非金属粉末以及氧化物、氮化物、碳化物等化合物粉末。

金属粉末的生产方法简要地可以分为物理化学法和机械法两大类。

物理化学法是借助物理的或化学的作用,改变原材料的聚集状态或成分而制得粉末。机械法是利用机械外力(固体、液体或气体的力)将原材料(固体或溶液)粉碎成粉末,其成分基本不发生变化。有时为改善粉末性能或因生产上的需要,将两种方法结合起来应用,如用电解法制得某些脆性金属沉积物,或用氢化法处理获得金属(或合金)氢化物,然后再用机械法粉碎等。

金属粉末是粉末冶金的主要原料,其性能和制造过程与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。

应该注意到,即使同一种粉末,制造方法不同,其性能也不一样(表1-1)。一般来说,金属粉末制造的基本要求是粉末性能适合粉末冶金的生产要求、质量稳定及均匀、价格便宜。

表1-1 常用金属粉末的制造方法及其特点

制造方法	原材料	粉末种类	主要金属含量 (质量分数,%)	颗粒形状	粒度/ μm	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	硬质合金、灯丝、触头、复合材料、永磁合金及其他
固体碳还原	氧化物、矿石	Fe	97.5~98.0	多角状	20~400	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	轴承、硬磁合金、电刷、高密度零件

(续)

制造方法	原材料	粉末种类	主要金属含量 (质量分数, %)	颗粒形状	粒度/ μm	应用范围
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、Al、Ag、 Fe-Al-Ti 等	与原材料相 同	皿状	20 ~ 400	含油轴承、弹带、 磁芯、硬磁合金、 电刷、机械零件等
用水蒸气与 空气雾化法	延性金属及 合金的溶液	Al、Fe、Cu	96 ~ 98	带球形 的飞散状	20 ~ 400	机械零件、多孔 性制品、电刷、复 合材料、磁芯等
用空气、水 和原料同时进 行机械粉碎的 雾化法	延性金属及 合金的溶液	Fe、Ni、 Cu、Al、Ag、 青铜、黄铜、 不锈钢等				
羰基法	金属羰基化 合物	Ni、Fe	99.5 ~ 99.7	球状	0.1 ~ 5	永磁合金、磁芯、 高纯度合金等

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、颗粒内孔隙、显微组织、硬度、加工硬化性、塑性变形能、表面状态及表面张力等。
- 3) 工艺性能：松装密度、振实密度、流动性、压缩性及成形性等。
- 4) 化学性能：纯度、可还原氧及氢中失重等。
- 5) 特殊性能：电磁性能、摩擦特性、导热性、耐热性、抗氧化性及耐蚀性等。

对粉末冶金机械零件来说，对粉末要求的主要性能是颗粒形状、粒度、粒度分布、松装密度、压缩性、成形性、流动性及化学成分等。

(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、成形及烧结性等都有影响，是粉末的主要性能之一。

球状颗粒难以搭桥，故流动性好，松装密度大，充填空隙小，成形性差。树枝状及不规则状颗粒，由于比表面大，故成形性好，利于烧结，但流动性差，松装密度小。片状颗粒成形性和烧结性能均差，不宜用于制造粉末冶金结构零件。

(2) 粒度 粉末冶金所用的金属粉末，其颗粒大小约为 $0.1 \sim 500 \mu\text{m}$ 。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。该方法用所通过的筛网目数（指 1 英寸中的网眼数）来表示粒度。

(3) 粒度分布 充填粉末时，颗粒间空隙越少，压坯强度越高，同时也越容易烧