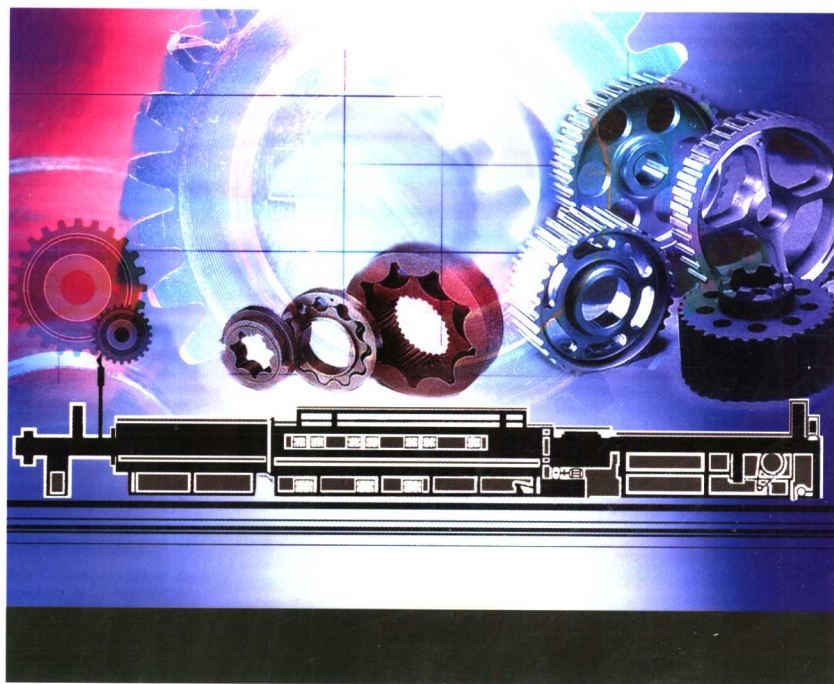


周作平 申小平 编著

粉末冶金机械零件 实用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

粉末冶金机械零件实用技术

周作平 申小平 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

内 容 提 要

本书针对量大面广的铁铜基机械零件制造技术,分三篇分别详尽阐述了金属粉末的制造方法、工艺性能及其选用原则,成形技术和模具模架设计、制造和运行故障的排除及相关设计实例,烧结、材料和后处理技术等基础知识和实际应用实例;尤其对结构零件的致密化、合金化和热处理内容,结合材料学相关理论,深入浅出,作了系统介绍;对温压技术、金属注射成形技术、烧结硬化技术等粉末冶金新技术作了完整介绍。附录中还提供了铁铜基粉末冶金零件相关国家标准。

本书可供粉末冶金零件制造企业的广大工程技术人员、管理人员以及现场的实际操作者阅读,可作为该类企业职工的培训教材;也可供粉末冶金机械零件应用行业(汽车、家电等)的设计人员参考;或作为材料、机械类相关专业大专以上学生的教学实践参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金机械零件实用技术/周作平,申小平编著.
北京:化学工业出版社,2005.6

ISBN 7-5025-7434-4

I. 粉… II. ①周…②申… III. 粉末冶金-机械
元件 IV. TF12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 074670 号

粉末冶金机械零件实用技术

周作平 申小平 编著

责任编辑:刘丽宏

责任校对:洪雅姝

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 33 $\frac{3}{4}$ 字数 837 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7434-4

定 价:69.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

京化广临字 2005-17 号

前 言

20 世纪初发展起来的粉末冶金技术，在推动材料科学的发展、促进现代科学技术进步中，做出了不可磨灭的贡献。

20 世纪 30 年代以后，粉末冶金技术又将材料科学和金属成形技术完善地结合起来，成为量大面广的高效、节材、节能的少、无切削新型加工技术。如今，采用粉末冶金技术制造的各类机械零件，广泛地应用于汽车、摩托车等交通运输机械、农业机械、纺织机械、办公机械、食品机械、印刷机械及电动工具、家电产品、音响制品等各类主机产品中。可以说，凡是运转的机械主机中，无不包含着由粉末冶金技术制造的各式各样的零件。

我国粉末冶金零件制造技术起步于 20 世纪 50 年代，比工业发达国家晚了近 30 年。当时由于缺少必要的生产技术基础和专业人才，进展十分缓慢。至 80 年代中期以后，在引进主机产品，尤其是轿车等项目中，发现在许多主机中大量应用粉末冶金零件，尤其是结构零件，其数量之多，应用面之广，使我们受到了极大的启发，得到了包括主机产业在内的各方面重视和关注。随后通过近 20 年包括技术引进，装备更新改造，铁粉原料在数量、质量和品种等方面同步提高，为 21 世纪粉末冶金机械零件业走上快速发展轨道，打下了较好的基础。

进入 21 世纪的头几年，我国制造业进入快速发展时期，尤以汽车工业发展势头旺盛。大家知道，世界粉末冶金零件业的发展，是和汽车工业发展最为密切相关的。在发达国家，汽车工业始终是粉末冶金零件的最大用户。如 20 世纪末北美粉末冶金汽车零件占整个粉末冶金机械零件的 70% 以上，日本 80% 以上，其中以轿车上的应用最为典型。这无疑提示我们，粉末冶金零件企业遇到了前所未有的发展机遇。

但是，包括汽车在内的现代各类主机产品对零件的技术水平要求很高。高精度、复杂形状的结构零件，不但要有先进的技术装备，而且在设计制造人员综合学科知识的运用和创新能力、一线职工的技术素养、企业管理水平等方面，必须提高至一个新的平台。机遇和挑战并存，市场巨大的潜力和企业综合水平的提高，将成为贯穿我国粉末冶金机械零件发展的总趋势，也为各类企业、各方人才提供了巨大的发展空间。

正是从这个角度出发，为适应我国粉末冶金零件发展的需要，结合我国企业的技术现状，为众多中小企业中从事粉末冶金零件制造的广大工程技术人员、管理人员以及现场的实际操作者，撰写一本以粉末冶金基础知识为指导的实用技术类书籍，是十分必要和迫切的。鉴于此，本书在撰写过程中将突出以下特点。

第一，加强基础，指导应用。本书撰写中，将粉末冶金机械零件成形和烧结过程中涉及的有关材料科学和成形技术的基础知识揉进实用技术中，以提高现场工程技术人员和实际操作者应用基础知识指导生产实践的能力，在实践中进一步提高理论认识水平和技术素养，增强发展后劲。

第二，突出针对性，服务对象明确。粉末冶金技术本身，涵盖的内容非常广泛，本书仅把量大面广的铁铜基机械零件制造技术作为主要描述对象，并针对我国铁基结构零件水平相对薄弱，而发展势头又特别强劲的现状，精心组织内容。

第三，普及新技术，力求新发展。本书在撰写中，参阅了近二十年来粉末冶金制造技术中涌现出来的新技术、新工艺文献，并通过现场考察，结合作者的认识水平，择其发展潜力大的，对大多数企业有启示和发展前景的温压技术、金属注射成形技术、烧结硬化技术等内容纳入本书，提高企业对新技术、新工艺的兴趣和认识水平，为进一步开发、应用新技术、新工艺起到铺路架桥的作用。

书中内容深入浅出，基础知识以应用为目的，并考虑适应人才宽口径的需要，注意培育他们的学习兴趣，力求做到看得懂、用得上，并在技术水平上有所收益，有所提高。

本书由三部分组成。第一篇金属粉末侧重于粉末制造方法和金属粉末性能与工艺性能的关系，使零件制造业对粉末原料有一个全面的了解，并提供选材的依据。

第二篇是成形技术和模具模架设计。它既是一个独立的篇章，又是和致密金属成形技术不完全相同的少、无切削新型成形过程，在完成成形的同时，必须融会贯通粉末冶金材料科学的基础知识。本篇重点放在高精度、形状复杂结构零件的模具模架设计、制造和运行故障的排除和大量示例。

第三篇为烧结、材料和后处理技术，以深入浅出的叙述方式介绍相对深奥的烧结基础理论，以开拓科学思维的想像力和分析问题的能力。侧重点则致力于高强度结构零件的致密化、合金化和热处理等技术的应用。并对温压技术、金属注射成形技术、烧结硬化技术等内容，采用科技普及性叙述方式，作了较为详尽的介绍，借以反映粉末冶金制品技术的新水平和新成果。

本书大纲由合肥工业大学周作平提出，概论部分、第一篇、第三篇由周作平撰写，第二篇由南京理工大学申小平撰写。书稿由周作平审定。

在书稿撰写过程中，参阅了多种科技书稿和有关文献资料，在此，对有关书稿和文献资料的作者致以诚挚的敬意和衷心的感谢！

限于作者水平，书中错误和不当之处难免，恳请读者批评指正。

编著者

2005年6月

目 录

第一章 概论	1
第一节 粉末冶金发展历史概述	1
一、粉末冶金的基本概念	1
二、粉末冶金发展史上的三个重要标志	1
三、粉末冶金在现代技术和国民经济中的作用	2
第二节 粉末冶金机械零件制造工艺特征	3
一、粉末冶金机械零件传统制造工艺	3
二、粉末冶金机械零件制造的新工艺、新技术	4
三、用粉末冶金工艺制造机械零件的技术经济特征和优先选择原则	7
第三节 粉末冶金减摩零件和结构零件	8
一、粉末冶金减摩零件的发展和应用	8
二、粉末冶金结构零件的发展和应用	9
三、粉末冶金机械零件的经济评估	9
四、粉末冶金机械零件的产品开发和营销	11

第一篇 粉 末 原 料

第二章 金属粉末	13
第一节 金属粉末性能	13
一、粉末与粉末体	13
二、粉末粒度分类和粒度分布	14
三、粉末形状	15
四、金属粉末化学成分	16
五、金属粉末工艺性能	16
第二节 铁铜基粉末原料制备方法简介	18
一、机械粉碎法	19
二、熔融液态金属和合金雾化法	22
三、金属化合物还原法	23
四、电解法	24
五、羰基化合物热离解法	24
第三章 机械零件用金属粉末原料的主要生产方法	26
第一节 固体碳还原法生产铁粉	26
一、还原法基本原理	26
二、还原法生产海绵铁工艺	29
三、海绵铁的二次精还原	34
四、还原铁粉国家标准	35
五、铁粉标准中主要参数的含义	36
第二节 水雾化法生产金属铁粉	38
一、雾化法生产金属粉末的基本原理	38

二、喷嘴结构	41
三、雾化法制取金属钢铁粉末	43
四、雾化工艺参数和金属液的内在性质对粉末粒度和形状的影响	45
五、水雾化铁粉和还原铁粉性能比较	47
第三节 低合金钢铁粉末的生产	47
一、水雾化法生产低合金钢粉	48
二、扩散黏结法部分预合金粉的生产	51
三、共还原法制取铁钼合金粉	51
第四节 国外主要金属粉末公司钢铁粉末品种和性能简介	53
一、还原铁粉品种和性能	53
二、雾化纯铁粉品种和性能	54
三、预合金粉品种与性能	55
四、扩散黏结部分预合金粉品种和性能	56
五、预合金化高合金钢粉品种和性能	57
第五节 雾化青铜粉和电解铜粉的生产	58
一、气雾化 6-6-3 青铜粉工艺	59
二、水溶液电解法生产铜粉	60
第六节 钢铁粉末主要工艺参数检测方法	64
一、粉末的验收与取样	64
二、铁粉化学成分测定	66
三、氢损值测定	67
四、金属粉末中酸不溶物测定	68
五、金属粉末粒度组成的测定	68
六、金属粉末松装密度的测定	69
七、金属粉末流动性的测定	70
八、金属粉末压缩性的测定	71
九、金属粉末的成形性	73

第二篇 成形技术和模具模架

第四章 粉末冶金成形技术基础	75
第一节 压制过程力的分析	76
一、压制压力	76
二、侧压力	76
三、外摩擦力和压力损失	77
四、脱模压力	77
五、压力中心	79
六、精整压力	80
第二节 粉末在压制过程中的变化规律	80
一、压制过程中粉末的运动和粉末的变形	80
二、压制压力和压坯密度、强度的关系	81
三、单轴向钢模压制压坯密度的不均匀性分布	82
四、调整压坯密度分布的压制方式选择	83
五、多台阶压坯密度均匀分布的遵循原则	90
第三节 压制工艺	97

一、配料及其计算	97
二、混料工艺及影响因素	98
三、手动压制中的称料、装料	101
四、自动压制中的称料、装料	102
五、压制过程控制	104
六、脱模	105
七、压坯质量控制及检查	106
八、压坯密度、密度分布对烧结制品质量的影响	109
第五章 粉末冶金零件设计	110
第一节 粉末压坯形状设计	110
一、压坯形状的分类	110
二、压坯形状的设计	112
三、特殊压坯形状的设计	116
四、组合成形法简化压坯复杂形状的设计	118
五、不同压坯形状压制面的选择	119
第二节 粉末压坯密度设计	122
一、密度大小的设计	122
二、密度均匀性的设计	123
第三节 压坯尺寸及精度设计	126
一、压坯的尺寸限制	126
二、尺寸及位置精度设计	127
第六章 粉末冶金成形模具与模架 (I)	131
第一节 粉末冶金成形压机的基本要求与选择依据	131
一、基本要求	131
二、选择依据	132
第二节 粉末冶金模架的作用及分类	136
一、模架的功能及特点	136
二、模架和模具的构成关系和基本动作	138
三、粉末冶金专用成形模架的类型	138
第三节 常见粉末冶金成形模架	139
一、普通压机用成形模架	139
二、粉末冶金专用压机拉下式成形模架	143
三、粉末冶金专用压机顶出式成形模架	148
第七章 粉末冶金成形模具与模架 (II)	150
第一节 成形模具结构设计	150
一、成形模具结构分类	150
二、成形模具结构设计原则	150
三、成形模具结构设计步骤	151
第二节 成形模具结构方案	151
一、普通成形模结构基本方案示例	151
二、特殊成形模结构基本方案示例	155
第三节 压模自动化机构的设计	156
一、浮动机构	156
二、脱模复位机构	163

三、自动装粉机构	171
第八章 粉末冶金成形模具与模架 (Ⅲ)	174
第一节 普通压机用成形模具结构示例	174
一、等高压坯模具结构示例	174
二、带台阶压坯模具结构示例	175
第二节 粉末冶金专用压机用成形模具结构示例	182
一、一个台阶压坯模具结构示例	183
二、多台阶压坯模具结构示例	184
三、特殊形状压坯模具结构示例	186
第九章 精整模具	191
第一节 精整、精压和复压	191
一、精整	191
二、精压	193
三、复压	193
第二节 精整模具模架结构设计	194
一、精整模的基本要求	194
二、精整模结构设计	194
三、精整模架类型	198
第三节 精整模结构与动作示例	201
一、通过式精整模结构	201
二、全精整式精整模结构	203
第十章 模具主要零件设计	206
第一节 成形模具主要零件结构设计	206
一、阴模设计	206
二、芯棒设计	209
三、模冲设计	211
第二节 精整模具主要零件设计	213
一、阴模设计	213
二、芯棒设计	214
三、模冲设计	216
第三节 模具主要零件尺寸设计	216
一、模具尺寸计算步骤	216
二、模具参数选择	216
三、模具尺寸计算方法	223
第四节 典型产品零件设计计算示例	230
一、柱面零件	230
二、带台零件	235
第十一章 粉末冶金模具制造	244
第一节 模具制造的一般要求	244
一、模具的使用状况	244
二、模具制造的要求	244
第二节 模具主要零件材料的选择	245
一、阴模常用材料的选择	246
二、芯棒常用材料的选择	246

三、上下模冲常用材料的选择	247
四、模套材料的选择	247
第三节 模具主要零件材料的成分及热加工工艺	248
一、硬质合金	248
二、钢结硬质合金及热加工工艺	250
三、高速钢及热加工工艺	251
四、高合金工具钢及热加工工艺	251
五、低合金工具钢及热加工工艺	252
六、碳素工具钢及热加工工艺	252
七、合金结构钢、碳素结构钢及热加工工艺	253
第四节 模具主要零件制造工艺	253
一、机械加工	253
二、特种加工	254
三、模具主要零件制造工艺流程	257
四、模具零件的典型加工工艺举例	257
第五节 提高模具寿命的方法	262
一、研究和选用新型模具材料	263
二、改进热处理工艺方法	263
三、模具表面涂覆处理	264
四、电火花表面强化	265
第六节 模具零件的检测方法	265
一、性能检测	265
二、外观质量检测	266
三、尺寸、形状和位置公差检测	266
四、合模检查	268
五、产品验收	268
第十二章 模具的安装和调试	269
第一节 模具的安装	269
一、安装要点	269
二、安装前的准备工作	269
三、安装程序	269
第二节 模具的调试	271
一、调试要求	271
二、调试程序	271
第三节 试模出现的主要缺陷与调整	271
一、压坯密度不符合工艺要求	271
二、尺寸不符合要求	272
三、形位公差超差	273
四、外观不合格	274
第四节 精整中常见的质量问题及解决方法	281
一、尺寸精度及形位公差不合格	281
二、表面缺陷	282
三、精整时的润滑问题	284
第五节 常见的模具损坏类型及分析	284

一、模具损坏类别	284
二、模具损坏分析	285
第三篇 烧结、材料和后处理技术	
第十三章 烧结基本原理和烧结技术	288
第一节 烧结概述	288
一、烧结的概念及其在粉末冶金工艺中的重要性	288
二、烧结的分类	289
第二节 烧结的基本原理	290
一、烧结过程热力学基础知识	290
二、烧结机构简介	291
三、固相烧结	293
四、液相烧结	295
五、活化烧结	299
第三节 铁基零件烧结技术	301
一、铁基零件烧结技术的特点	301
二、铁基零件烧结过程的三个基本阶段	301
三、铁基零件烧结和冷却过程中组织机构的变化	304
四、铁基减摩零件和铁基结构零件烧结工艺参数的差异	307
第四节 烧结气氛	308
一、铁基零件生产中保护气氛的选择原则	308
二、铁基生产中常用烧结保护气氛及技术经济评述	312
三、气体的净化和干燥剂的应用与再生	323
第五节 烧结装备	326
一、粉末冶金烧结工艺对烧结炉的基本要求	326
二、铁铜基零件生产中常用烧结炉类型	326
三、铁基零件烧结炉烧结过程的正常运行和故障分析	330
第十四章 粉末冶金减摩材料和制品（含油轴承）制造技术	334
第一节 粉末冶金减摩零件的材料特性	334
一、减摩零件与结构零件的应用功能与制品品种	334
二、对减摩零件的性能要求	335
三、粉末冶金减摩零件的性能特点	335
第二节 影响铁铜基含油轴承减摩性能的因素	340
一、孔隙的影响及孔隙度确定	340
二、粉末粒度的影响	341
三、显微组织结构的影响	341
四、润滑剂的影响	343
第三节 固体润滑剂的应用	344
一、石墨和二硫化钼的应用	345
二、硫及硫化物的应用	346
三、其他润滑剂的应用	347
第四节 铁基含油轴承制造工艺	349
一、铁基含油轴承材料系列	349
二、含油轴承制造工艺过程中的质量控制	356

第五节 青铜基含油轴承制造技术	359
一、青铜基含油轴承特点和应用	359
二、青铜基含油轴承材料成分	360
三、烧结青铜含油轴承孔隙的形成机制及其控制	362
四、青铜基含油轴承制造工艺	364
五、青铜基含油轴承的储油性和供油性	366
六、提高质量的工艺措施	367
第六节 烧结金属石墨材料和带钢背的复合减摩材料	369
一、金属石墨材料	369
二、带钢背的复合减摩材料	371
第十五章 铁基结构零件致密化技术	376
第一节 铁基结构零件发展、应用和技术经济优势	376
一、铁基结构零件的发展和国内现状	376
二、铁基结构零件应用的主要领域	378
三、铁基结构零件的技术经济优势	378
第二节 铁基结构零件密度和材料力学性能的关系	381
一、密度与孔隙度	381
二、孔隙度、孔隙形状、大小、分布与力学性能的关系	381
三、孔隙对材料物理性能的影响	384
四、提高密度的传统方法简介	385
第三节 复压复烧技术	387
一、复压复烧技术的提出及其应用	387
二、复压复烧技术的工艺控制	387
三、复压复烧技术的技术经济评述	391
第四节 熔渗技术	392
一、熔渗技术在粉末冶金制品生产中的应用特点	392
二、铁基结构零件熔渗工艺	393
三、铁基结构零件熔渗技术的工艺参数控制	393
第五节 温压技术	396
一、温压技术的工艺特征	396
二、影响温压技术致密化和强韧性的因素及其分析	400
三、温压技术工业化发展前景	404
第六节 金属注射成形技术	405
一、金属注射成形技术的工艺特征和发展前景	406
二、金属粉末注射成形喂料的制备	407
三、注射成形	410
四、注射成形坯的脱黏(脱脂)	412
五、金属注射成形坯烧结	416
第七节 粉末预成形坯热锻技术	420
一、粉末冶金预成形坯热锻工艺的特点和应用	421
二、粉末冶金预成形坯的设计和生產	421
三、粉末预成形坯的锻造作业	424
四、粉末预成形坯热锻材料的力学性能	425
第十六章 铁基结构零件合金化技术	426

第一节 铁基材料基础知识	426
一、铁-碳相图在铁基材料中的应用	426
二、固溶体和固溶强化	434
三、合金元素在铁基材料中的强化作用	438
四、合金组织不均匀性引起的材料力学性能的波动	441
第二节 合金元素选用原则	442
一、粉末冶金零件合金化过程中应考虑的一些工艺因素	442
二、不同粉末冶金工艺选用合金元素的原则	444
第三节 铁基粉末冶金引入合金元素的方法	445
一、混合法	445
二、黏结扩散法引入合金元素	446
三、用雾化法制成预合金粉	446
四、熔渗法引入合金元素	446
五、热处理等后续处理过程引入合金元素	447
六、多元合金化应用	447
第四节 铁基结构零件材料系列	448
一、烧结碳钢系列	448
二、烧结铜钢系统	451
三、烧结镍钢系列	455
四、烧结低合金钢材料	457
五、高耐磨高合金钢材料	462
六、烧结不锈钢材料	463
第十七章 铁基材料热处理和表面处理	466
第一节 热处理基础知识	466
一、热处理概念及其应用	466
二、钢在加热时的奥氏体化	467
三、奥氏体晶粒大小及其控制	468
四、过冷奥氏体等温转变曲线 (C 曲线)	469
五、过冷奥氏体转变产物的组织与性能	473
第二节 热处理强化在铁基粉末冶金机械零件中的应用	476
一、铁基结构零件热处理工艺特点	477
二、铁基结构零件常用热处理工艺类型	478
三、铁基结构零件的直接淬火—回火处理	479
四、铁基结构零件的表面热处理—高频淬火	485
五、铁基结构零件化学热处理—渗碳和碳氮共渗	487
第三节 烧结硬化工艺和烧结硬化钢	492
一、烧结硬化工艺的提出	492
二、烧结硬化工艺合金化的影响	493
三、烧结硬化钢与烧结低合金钢淬火热处理性能比较	494
第四节 铁基零件的蒸汽处理	496
一、蒸汽处理的应用	496
二、蒸汽处理的基本原理和反应	497
三、蒸汽处理中常见质量故障的分析及其解决措施	498
四、蒸汽封孔气密性处理	501

附录	503
附录 I 铁铜基粉末冶金机械零件国家标准目录	503
一、金属粉末及其理化与工艺性能检测标准	503
二、铁铜基材料及其相关性能检测标准	503
附录 II 粉末冶金成形压坯面积和体积的计算方法	504
一、规则形状和非规则形状面积算法	504
二、压坯体积算法和浮重称量法	506
附录 III 硬度测定和硬度值的换算	507
一、布氏、洛氏、维氏硬度测量	508
二、洛氏硬度 HRC 与其他硬度及强度换算表	510
三、洛氏硬度 HRB 与其他硬度及强度换算表	511
附录 IV 常用模具材料及其热处理参数	511
一、常用冷作模具钢钢号及化学成分	511
二、常用模具钢的热处理工艺参数	512
三、常用硬质合金牌号、化学成分和物理-力学性能	512
附录 V 美国 MPIF 标准 35 “粉末冶金结构零件材料标准” 2000 年版介绍	512
一、烧结铁与烧结碳钢	513
二、烧结铁铜合金和烧结铜钢	514
三、烧结铁镍合金和烧结镍钢	515
四、烧结低合金钢	517
五、烧结硬化钢	518
六、扩散合金化钢	519
七、烧结渗铜铁和烧结渗铜钢	520
八、烧结不锈钢-300 系列合金	521
九、烧结不锈钢-400 系列合金	522
十、烧结黄铜、烧结青铜及烧结锌白铜	524
参考文献	525

第一章 概 论

第一节 粉末冶金发展历史概述

一、粉末冶金的基本概念

粉末冶金是一门古老技术，又是一门涉及化工、冶金、材料、机械等多学科，在 20 世纪获得快速发展的新兴的技术。早在纪元前一段漫长的历史中，就有了制陶技术；将铜矿物和锡矿物混入木炭屑置于陶罐中，在陶窑内还原获得青铜粒，经锤打制得青铜器物；用木炭还原铁矿石制取块铁，后经粉碎锤打制成铁器工具和兵器。到了 17 世纪，欧洲出现铂制品生产过程，先是制造出纯的海绵铂粉，经研碎、压制，然后用火罐封住，风火炉加热得到烧结产物，经锤锻制成铂制品。

上述所有这些制取金属或合金、铂制品等的方法，都有一个共同的特点，就是没有经过高温熔炼过程。也就是说在人类尚未发明高温熔炼技术制得熔融金属之前，就已经在使用一种技术制造金属器具了。这种未经熔炼通过先制造出金属粉状物，后经低于金属熔点温度以下通过固结制取金属材料和制品的工艺过程，称做古老的粉末冶金技术。

这一古老技术经过长期的探索、演绎，到了 20 世纪初，成功地制出了用熔炼方法难于制备的高熔点白炽灯钨丝，这标志着近代粉末冶金技术的诞生。人们把这一技术定义为：粉末冶金是研究制取各种金属粉末，通过成形与烧结过程和必要的后续处理，最终获得各种材料和制品的技术。

粉末冶金的典型工艺过程是：①原料粉末的制取，包括金属粉末、合金粉末、金属化合物粉末以及包覆粉末等，研究制备这些粉末的工艺方法，以及为后续成形和烧结所要求的各种性能特征，同时评估它们的经济性；②原料粉末经必要的预处理，如物料配比、混合，通过不同成形技术以获得具有一定形状和尺寸的压坯，包括板、棒、管、丝等型材，或者直接成形为如齿轮、链轮、棘轮和各种套类等最终零件形状的坯件。成形技术中用得较为广泛的是模压成形。其他成形方法有粉末轧制、注射成形、等静压成形等；③将坯件在低于基体金属熔点温度下加热，这个过程称做烧结，是粉末冶金工艺中最为关键的工序。坯件通过烧结，才使成形过程中粉末颗粒间的机械啮合，变成烧结后颗粒固结成的晶体结合，以赋予坯件最终的物理和力学性能。而后续处理技术，如浸渍、精整、少量切削加工、热处理等，则是为了应用需要而进行的相关作业，以便更好地满足现代工业技术领域对材料及制品的要求。

二、粉末冶金发展史上的三个重要标志

粉末冶金虽然是人类历史上最早制得如铁、青铜等金属材料的技术，但随着 19 世纪冶金炉技术的发展，采用熔炼方法能够大批量地生产钢铁和有色金属，而使粉末冶金工艺逐渐被熔铸技术所取代，并在相当长一段时间内，这一传统工艺慢慢被人们所淡漠而停滞不前。一直到了 20 世纪初，用粉末冶金工艺制成了白炽灯钨丝，才使粉末冶金这一古老技术重新受到重视，并且在整个 20 世纪获得了快速的发展。

我们把 1909~1910 年用粉末冶金工艺制得白炽灯钨丝作为现代粉末冶金技术发展的标

志。现代粉末冶金技术发展经历了三个重要历史阶段。

第一阶段：采用粉末冶金技术，能够生产出用熔铸方法等其他技术无法制得的各类材料和制品。即粉末冶金是惟一可以制取这些材料和制品的技术方法，如由钨矿石制取纯钨粉、钨粉成形为棒条，通过烧结、锤锻和拉丝，奠定了现代粉末冶金一个相当完整的工艺技术过程。白炽灯钨丝作为电光源的新材料，给人类长夜带来了光明，是一个划时代的进步。随后许多难熔金属材料钨、钼、钽、铌等无不都是以粉末冶金为惟一的工艺方法，使粉末冶金这一传统的古老技术获得了新生，并且在 20 世纪 20 年代，这一独特的工艺技术成功地制造了硬质合金。用粉末冶金工艺制作的硬质合金刀具，比工具钢制作的切削刀具，切削速度和刀具寿命等提高了数倍甚至数十倍，也使一些难加工的材料可以进行加工。所以，硬质合金的出现，被誉为机械加工业的一次革命。正是由于用粉末冶金制得了难熔金属和硬质合金等一系列熔铸方法难于制备的高熔点、高硬度等许多新型材料，从而奠定了它在材料科学领域中的地位。

第二阶段：在 20 世纪二三十年代，用粉末冶金工艺成功制得多孔含油轴承。首先是青铜基含油轴承，不久又采用廉价铁粉制成铁基含油轴承，并且很快在汽车工业、纺织工业等领域广泛应用。随后随着铁粉质量不断提高，成形和烧结技术不断完善，进一步开发出高密度、高强度、形状复杂、精度又高的各类粉末冶金结构零件，使粉末冶金技术成为高效节能、节材、无切削和少切削的新型加工工艺，成为整个粉末冶金技术领域产量最大，应用面最广的一个产业部门。

如今，在国际粉末冶金发展的年度报告中，由于硬质合金和难熔金属材料等许多材料分别以专用名词冠名和评估，所以在粉末冶金年度报告中，常将铁、铜基等机械零件的快速发展作为粉末冶金发展的主要评估对象，并在许多粉末冶金设计手册、名词术语词典等著作中也常常以铁铜基等机械零件为主要内容加以论述。

第三阶段：20 世纪五六十年代以后，粉末冶金技术被化工、冶金、材料、机械等学科的科技工作者和生产企业关注和重视，学科之间互相渗透，开发出如粉末高速钢、粉末超合金、金属陶瓷、弥散强化材料、纤维增强材料等新材料，以及注射成形、粉末锻造、等静压制、温压技术等新工艺。随着现代技术经济对各类新材料、新产品的需求，粉末冶金技术还将向更高水平、更广阔的领域拓展。

三、粉末冶金在现代技术和国民经济中的作用

粉末冶金从学科来讲，属于材料科学范畴，但实际涉及的领域十分广泛，是一门跨化工、冶金、材料、机械等多学科的综合技术，在现代工业发展和国民经济中起着不可缺少的作用。特别是对于许多特殊材料，诸如难熔金属材料，工具材料中的硬质合金、金刚石和立方氮化硼等超硬材料，原子能工程材料中的核燃料元件、弥散强化型复合材料，反应堆中结构材料、减速材料、控制材料、屏蔽材料，耐热材料中的粉末镍基超合金、钴基超合金、高温氧化物基和碳化钛基的金属陶瓷，高密度钨铜合金，以假合金形式出现的高压电触头材料、高温磁性材料、金属电热材料等材料中的大部分，只能用粉末冶金制造。可以说，现代科学技术的发展，现代文明的许多成就，缺少了粉末冶金技术是不可想像的。

粉末冶金的另一特征及其在技术经济中显示出来的生命力，在于从 20 世纪 30 年代发展起来并不断完善的制造各种机械零件的无切削或少切削的机械加工工艺，它和传统的机械加工工艺如铸、锻和切削加工工艺比较，用粉末冶金技术制造的机械零件，具有节材、节能、无污染、投资少、见效快等特点，并具备大批量生产的高效金属成形技术，在汽车零部件工业的

发展中,提供了如齿轮、链轮、凸轮、棘轮等大量优质的结构零件,含油轴承和耐磨、耐腐蚀零件等。粉末冶金制造各类机械零件的技术经济上的优势,已为众多工业部门认可。除汽车工业外,包括摩托车在内的其他交通机械、农业机械、纺织机械、办公机械、电动工具、家电产品等,都在大量采用粉末冶金机械零件。随着近二三十年粉末冶金新工艺、新技术的不断涌现和完善,如注射成形技术、粉末锻造技术、温压技术等,又进一步拓宽了产品品种和应用领域,促使粉末冶金企业生产出更多、更好的零部件,以满足各类机械零件日益增长的需求。

第二节 粉末冶金机械零件制造工艺特征

一、粉末冶金机械零件传统制造工艺

在众多的粉末冶金材料和制品中,粉末冶金机械零件产量最大,品种最多应用面最广,也是近几十年新工艺、新技术不断发展和应用,取得成效最为明显的。尽管如此,粉末冶金传统工艺仍然是生产这类零件的最主要方法。图 1-1 示出了传统粉末冶金机械零件制造工艺基本流程。

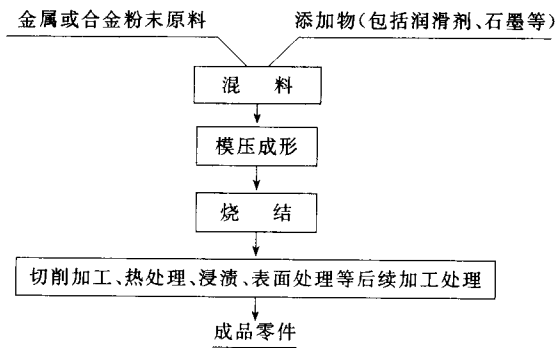


图 1-1 传统粉末冶金机械零件基本工艺流程

传统粉末冶金工艺制造机械零件的技术要点是成形技术和材料烧结技术。根据零件不同种类而各有侧重。例如生产以减摩功能为主的含油轴承,其形状主要为轴套类或球形状,成形过程比较简单,侧重点是如何获得良好减摩性能的材料。因此,对材料成分、烧结工艺和后续处理应予以重视。而结构零件,特别是形状复杂、精度要求高的机械结构零件,不仅对成形技术和装备水平要求很高,而且对材料的致密化、合金化、热处理等材料科学提出了很高的要求。

传统粉末冶金机械零件的成形技术主要为封闭式钢模模压成形,适合于大批量高效率生产。根据零件形状复杂程度,模压成形的难易差距很大。以减摩功能为主的含油轴承,成形装备投入较少。而形状复杂和精度要求高的多台阶零件,为了求得密度上的均匀,必须设计和加工各类模架装置和相对应的压机动作。因而,模具模架的设计、加工和精密压机的配置及机械设计人员和现场技术管理水平,成为衡量一个企业产品开发能力和质量、水平的关键。

烧结是所有粉末冶金材料和制品生产中最重要工序之一。通过烧结过程,粉末颗粒间才能发生黏结、扩散、迁移和凝聚再结晶等一系列复杂的物理化学过程,最终使粉末颗粒由成形过程中的机械啮合变成烧结后的晶体结合。同时,随着烧结后期冷却速率不同,而得到不同组织结构和力学性能的制品。

压坯烧结后选择适当的后处理是必要的。进行精整等处理可以进一步提高制品精度等级