

粉末冶金 汽车零件

设计·生产·应用

FENMO YEJIN QICHE LINGJIAN
SHEJI SHENGCHAN YINGYONG

韩凤麟 编著



化学工业出版社

粉末冶金 汽车零件

设计·生产·应用

FENMO YEJIN QICHE LINGJIAN
SHEJI SHENGCHAN YINGYONG

韩凤麟 编著



化学工业出版社

1118050010

本书首先介绍了“粉末冶金技术概要”，简要说明了“粉末冶金零件在汽车制造中的发展与应用”，重点阐述了“粉末冶金结构零件的设计、生产、后续加工与处理”，最后，对汽车制造中常用的 140 多种粉末冶金零件的生产与性能逐个进行了说明。

本书可供汽车制造、机械制造及粉末冶金零件生产方面的设计、技术、生产管理及营销人员使用，也可作为理工院校的机械、汽车、金属材料、粉末冶金等专业的有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末冶金汽车零件 (设计·生产·应用) / 韩凤麟
编著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-122-15527-6

I. ①粉… II. ①韩… III. ①粉末冶金零件-汽车-
零部件-基本知识 IV. ①U463②TF125

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 237696 号

责任编辑: 黄 滢
责任校对: 陶燕华

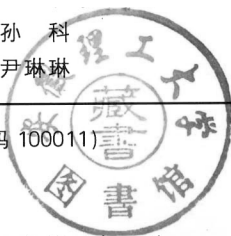
文字编辑: 孙 科
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 427 千字 2013 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元
京化广临字 2013—4 号

版权所有 违者必究





安徽省桐城市汽车部件有限公司

桐城市汽车部件有限公司座落在风景秀丽、文风凝重的历史文化名城“桐城派故里”——中国安徽桐城市。

历经30余年的成长，公司已发展成为集设计、生产、检验、研发、销售为一体的专业发动机零配件制造企业。中国内燃机协会会员单位，安徽省铸造协会会员单位，中国机械协会粉末冶金分会会员单位，上海内燃机研究所气门座圈、气门导管试制试验基地，国家高新技术企业。



◆ 产品及适用范围

主要产品：气门座圈、气门导管、气门。服务国内外主机及售后维修市场。

产品适用范围：日韩车系、欧美车系、国产轿车、微型汽车、重柴车、叉车、摩托车、农用汽车、船用及工程机械等，承接新产品开发或来样（图纸）加工。适用无铅汽油、柴油、特殊燃料机（甲醇、乙醇、CNG\LNG\LPG）。

产品荣誉：获得安徽省重点新产品的称号。

◆ 研发

行业内率先进行发动机气门、气门座圈、气门导管不同材料在高温环境下摩擦副最佳匹配性实验，并将研究成果积极应用于生产。

公司自主研发：温压—模壁润滑含稀土粉末冶金发动机气门座及其制造方法，离心铸造含稀土高耐磨发动机气门座圈、气门导管及其制造方法，获两项国家发明专利及科技创新奖。

与上海内燃机研究所合作，起草《内燃机气门座技术条件（产品执行标准）》、《粉末冶金气门导管技术条件（产品执行标准）》等四个行业标准。

与合肥工业大学、武汉理工大学等国内著名高校合作，并且与德国、美国、日本著名粉末冶金专家进行技术合作，尤其是在大功率柴油机和特殊燃料机（甲醇、乙醇、CNG\LNG\LPG）上有世界一流的研究成果和运用。



◆ 质量体系

2004年通过ISO9001:2000质量体系认证

2010年通过ISO/TS16949:2009质量体系认证

安徽省卓越绩效奖、标准化AAAA企业

◆ 销售网络

产品与国内二十多家主机厂配套，出口欧美、中东、东南亚等多个国家和地区。



电话：86-0556-6540098, 6543922 传真：86-0556-6543979, 6541439

联系人：袁春 15155082678

地址：中国安徽省桐城市经济技术开发区高桥工业园 邮编：231400

E-mail: 15155082678@163.com

网址: <http://www.ah-st.com>

RioTinto

**From Ore To Powder,
To Meet Your Requirements!**

Metal Powders

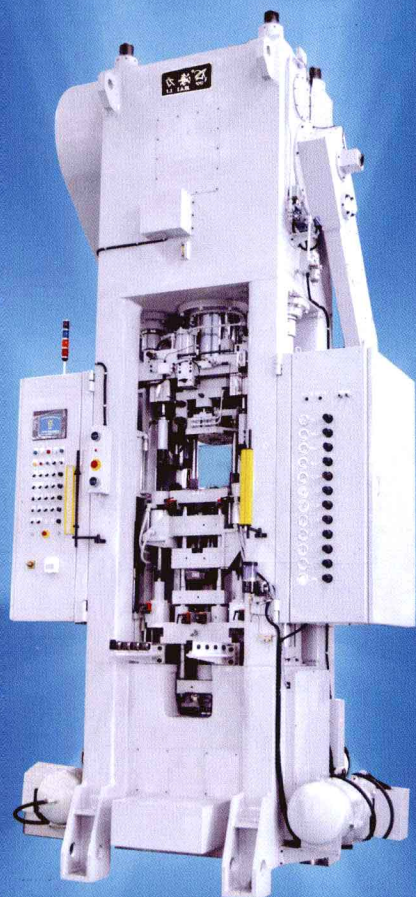
www.qmp-powders.com





扬州市海力精密机械制造有限公司

YANGZHOU HAILI PRECISION MACHINERY CO.,LTD



扬州市海力精密机械制造有限公司是国内专业制造全自动机械式粉末成型压机和精整机的国家高新技术企业。公司科研、技术人员占公司35%，公司通过与大专院校、科研机构和日本粉末成型专家进行技术合作，系统开发了广泛适用于粉末冶金、硬质合金、磁性材料、电子陶瓷和电碳等领域的HPP-P、HPP-S、HPP-T、HPP-N、HPP-F、HPP-H、HSP等系列全自动粉末成型机和精整机。粉末成型机吨位从0.5吨-500吨，粉末精整机吨位从0.8吨-200吨。现拥有实用型专利27项，发明专利5项。公司提供粉末成型解决方案和成型机智能控制软件等服务，承接各种机械式粉末成型机的大修业务。

精心的设计、精湛的制造、精益的管理，全方位的服务和“我们共同发展让世界更美好”的理念得到了用户的认可和良好的社会信誉。争创一流品牌，东睦集团、重庆华孚、湖北东风、东磁集团、日本浦和、保来得、厦门东金电子、香港裕丰、株硬集团、自贡科瑞特、飞达集团、株洲欧科亿等众多著名企业都成为海力的合作伙伴。近几年公司加快了国际化的步伐，产品通过了CE认证，为进一步做大高端业务和国际业务市场开辟了道路。

公司将继续大力发扬“锐意进取、励精图治、勇往直前、追求卓越”的企业精神，坚持技术创新、产品创新、管理创新、服务创新、合作共赢，大力推进产品精品化和市场国际化。通过世界上领先的理论和技术、精良的设备和检测仪器、科学的管理和全体员工的不懈努力为粉末冶金、电子元件等相关行业提供优质的产品 & 配套服务。我们真诚欢迎来自各行业的领导、专家、客商来海力精机考察、指导、洽购。

项目 \ 型号	HPP-200P	HPP-200PS	HPP-500P	HPP-600P	HPP-800P	HPP-1000P	HPP-1600P	HPP-2600P	HPP-5000P
最大压制力 (kN)	200	200	500	600	800	1000	1600	2600	5000
最大脱模力 (kN)	100	50	250	400	400	500	800	1300	2200
上模冲行程 (mm)	130	90	160	170	180	200	200	200	200
上模冲调节行程 (mm)	60	40	80	80	100	100	100	100	120
最大装粉高度 (mm)	100	45	110	120	120	150	140	150	150
最大出模行程 (mm)	70	30	70	75	80	100	100	100	120
最终加压行程 (mm)	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
过 (欠) 装料行程 (mm)	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
阴模面位置调整量 (mm)	±5	±5	±5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5
成型速度 (r/mm)	10~40	20~80	6~16	8~24	8~24	6~20	6~20	6~20	6~18
主电动机功率 (kW)	5.5	7.5	7.5	15	22	22	30	37	50
机器重量 (kg)	2000	2500	6500	9500	12000	13000	18000	30000	59000

电话：0514-83838366

传真：0514-83838399

联系人：栾长平 13805270716

地址：江苏省扬州市西区盘古工业园区

邮编：211407

网址：www.hailijixie.com

E-mail:lcp@hailimachine.com



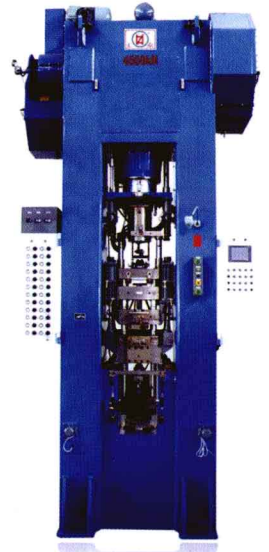
宁波汇众粉末机械制造有限公司

Ningbo Huizhong Powder Machinery Making Co.,Ltd

宁波汇众粉末机械制造有限公司创建于1999年，为第一批国家级高新技术企业，是粉末冶金行业标准《粉末冶金机械式压机技术条件》起草单位。

公司现有员工200余人，科研与技术人员占30%以上。公司设有省、市级工程研发中心，技术力量雄厚，装备精良，检测手段齐全，目前拥有大型卧式加工中心、龙门加工中心、数控车床、数控龙门导轨磨床、数控龙门磨床、立卧式加工中心、曲轴磨床、坐标镗床、大型数控金属切屑机床、线切割机床、螺纹磨床、定量光谱仪、三坐标测量仪等高精度加工检测设备170余台，从而确保了产品质量的稳定可靠。公司目前已成功开发了FY25、FY50、FY60、FY80、FY100、FY140、FY160、FY200、FY260、FY300、FY400、FY450、FY800等系粉末成形机，FZ60和FZ160粉末整形机。

公司以“发展自主品牌，振兴民族装备制造业”为宗旨，实施可持续发展战略，牢牢掌握压机的核心技术，集中力量进行技术攻关，促进产业技术的升级，使整体技术水平达到国内领先、国际先进，一如既往为粉末冶金行业的发展做贡献。



操作项目 Project 操作項目	单位 Unit 単位	规格/Specification/仕様																	
		FY25	FY25D	FY50	FY60G	FY60	FY80	FY100	FY140	FY160G	FY160	FY200	FY200D	FY260	FY300G	FY300D	FY450	FY500D	FY800
最大压制压力 Pressing Force Max 最大压缩压力	kN	250	250	500	600	600	800	1000	1400	1600	1600	2000	2000	2600	3000	3000	4500	5000	8000
最大脱模力 Demolding Force Max 最大推型力	kN	125	125	250	300	400	400	500	700	800	800	1000	1000	1300	1500	1500	2250	2250	4000
最大装粉高度 Max Powder Filling Depth 最大模粉高度	mm	60	90	110	90	120	135	140	140	105	150	150	150	150	130	130	150	150	150
上滑块行程 Upper Slider 上スライダ路線	mm	110	140	160	130	160	180	180	190	160	200	200	200	200	175	175	200	200	200
上滑块调整量 Adjustment of Upper Slider 上スライダ調整量	mm	50	50	80	80	80	110	110	130	130	130	150	150	150	150	150	150	150	150
阴模座承受力 Pressure Endurance of Die Seat 陰のモールドベースの受けられる力	kN	125	125	250	300	300	400	500	700	800	800	1000	1000	1300	1500	1500	2250	2250	4000
成形次数 Forming Frequency 成形回数	spm	10~25	10~20	6~22	8~22	6~16	6~15	7~16	6~15	6~17	6~17	6~15	5~14	6~15	5~15	5~15	5~14	5~14	5~12
多充填、少充填行程 Stroke of Overfilling Underfilling 多充填、少充填路線	mm	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	8
电动机功率 Motor 電動機工率	kW	5.5	5.5	7.5	7.5	7.5	15	15	22	22	22	30	30	37	37	37	45	45	45
最终压力(后压行程) Final Pressurizing 最终压力(後压行程)	mm	0.5~10	0.5~10	0.5~10	0.5~10	0.5~10	0.5~10	0.5~11	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15	0.5~15
阴模面调整 Die Surface Adjustment 陰のモールド表面調整	mm	±5	±5	±5	±5	±5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±7.5	±10	±10	±10	±10	±10
模架结构 Mold Structure モールド構造	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上2 下3	上3 下4	上3 下4	上3 下4
整机重量 Press Weight 全体重量	kg	3500	3500	6500	6700	7000	10000	12800	16000	18000	20000	28000	30000	32000	35000	38000	55000	58000	88000

地址：宁波市镇海澥浦广源工业区

电话：0574- 86503881/ 86503882

网址：http://www.nbh.com.cn

邮编：315203

传真：0574- 86503880

邮箱：manager@nbhz.com.cn

联系人：严培义 13906696015

前言

Foreword

粉末冶金汽车零件一般是指在汽车中使用的粉末冶金自润滑轴承（现在通称烧结金属含油轴承）与粉末冶金结构零件，诸如，齿轮、链轮及凸轮等。

烧结金属含油轴承是一类只能用粉末冶金工艺制造的产品，形状虽简单，但技术深奥。早在1922年，烧结金属含油轴承就开始用于汽车的Delco-Buick发电机中了，这标志着烧结金属含油轴承产业的肇端。一直到20世纪60年代初期，用粉末冶金制造的青铜（Cu-10Sn）含油轴承都是汽车使用的主要粉末冶金零件。进入20世纪80年代后，由于微电动机在乘用车中的大量应用，烧结金属含油轴承在汽车中的用量大量增加。

粉末冶金结构零件在汽车中的应用，起始于1937—1938年，通用汽车公司Marine Products Division研制成功的铁基粉末冶金油泵齿轮。1940年通用汽车公司开始用粉末冶金油泵齿轮大量取代用滚齿、由铸铁生产的油泵齿轮。从此拉开了用铁基粉末冶金结构零件取代汽车中的，由铸铁、钢材，用切削加工制造的结构零件的序幕。

2011年，中国汽车总产量已达到1842万辆，乘用车也已达到1449万辆。根据美国MPIF（金属粉末工业联合会）的调查报告，在北美生产的汽车中，粉末冶金零件的单独用量已有300多种（截止2008年），总用量已达到750多件。由此不难看出，中国粉末冶金汽车零件的潜在市场是多么巨大！因此，在以节能、减排、保护资源为第一要务的今天，大力宣传、推广粉末冶金零件在汽车制造中的应用，不仅具有重大经济意义，更重要的是可促进汽车制造业的创新与技术进步。

为此，笔者编写了这本《粉末冶金汽车零件（设计·生产·应用）》。本书首先介绍了“粉末冶金技术概要”，简要说明了“粉末冶金零件在汽车制造中的发展与应用”，重点阐述了“粉末冶金结构零件的设计、生产、后续加工与处理”，最后，对汽车制造中常用的140多种粉末冶金零件的生产与性能逐件进行了说明。

本书可供汽车制造、机械制造及粉末冶金零件生产方面的设计、技术、生产管理及营销人员使用，也可用作理工科院校的机械、汽车、金属材料、粉末冶金等专业的有关师生的参考书。

编著者

第 1 章 概论	1
1.1 粉末冶金技术概要	1
1.1.1 粉末冶金机械零件的发展	2
1.1.2 粉末冶金零件生产过程	5
1.1.3 材料的选择	8
1.1.4 技术性能	11
1.1.5 接近全密实的粉末冶金制品	13
1.1.6 特种材料	17
1.2 粉末冶金——一种公认可持续发展的绿色技术	18
1.2.1 粉末冶金工艺的可持续性	18
1.2.2 材料的可持续性	22
1.2.3 能源的可持续性	22
1.2.4 设备的可持续性	23
1.2.5 环境的可持续性	24
1.2.6 就业的可持续性	24
1.2.7 影响可持续性评价的产品优势	25
1.3 粉末冶金零件与汽车轻量化	26
1.3.1 汽车中使用的粉末冶金零件	26
1.3.2 粉末冶金零件实现轻量化	27
1.4 粉末冶金汽车零件目录	32
1.4.1 汽油/柴油发动机中的粉末冶金零件	32
1.4.2 变速器/分动器中的粉末冶金零件	41
1.4.3 车身/底盘中的粉末冶金零件	54
参考文献	59
第 2 章 粉末冶金汽车结构零件设计	60
2.1 常规粉末冶金结构零件设计的基本条件	60
2.1.1 基本形状	60
2.1.2 密度分布	62
2.1.3 高度方向的限制	65
2.1.4 径向尺寸限制	66
2.2 零件形状与尺寸精度设计	67
2.2.1 形状设计	67

2.2.2 对一些形状设计的进一步说明	72
2.2.3 尺寸精度	76
2.3 粉末冶金结构零件设计流程	82
2.3.1 粉末冶金结构零件设计要点	82
2.3.2 粉末冶金零件设计流程	83
2.4 粉末冶金汽车零件典型设计事例	85
参考文献	95

第 3 章 粉末冶金汽车结构零件生产

3.1 金属粉末	96
3.1.1 普通铁粉	97
3.1.2 各种合金化铁基粉末	97
3.2 金属粉末混合	100
3.2.1 混料机	100
3.2.2 混合方法、混合条件和混合质量	101
3.3 压制成形	102
3.3.1 单轴向压制成形原理	102
3.3.2 模具基本构成与常用压制方法	105
3.3.3 粉末冶金用成形压机	107
3.3.4 模具的构造与动作	112
3.3.5 模具设计	115
3.4 烧结	124
3.4.1 烧结炉	125
3.4.2 烧结保护气氛气体	129
3.4.3 氮基气氛气体故障对策	134
3.4.4 生产技术上的几个问题	137
3.5 精整、整形及复压	138
参考文献	141

第 4 章 后续加工与处理

4.1 切削加工	142
4.1.1 切削加工	142
4.1.2 铁基粉末冶金合金切削性能的改进	144
4.1.3 Fe 基粉末冶金合金切削加工的一般准则	144
4.2 接合	147
4.2.1 机械接合	148
4.2.2 烧结结合技术	148
4.3 粉末冶金结构零件焊接	154
4.3.1 粉末冶金零件的连接方法	155
4.3.2 粉末冶金零件焊接的材料选择	158
4.4 水蒸气处理	158
4.4.1 水蒸气处理原理	159

4.4.2	水蒸气处理对烧结铁基零件孔隙度的影响	160
4.4.3	水蒸气处理对烧结铁基材料性能的影响	162
4.4.4	水蒸气处理的应用	165
4.5	铁基粉末冶金零件热处理	166
4.5.1	孔隙度对铁基粉末冶金零件整体淬火的影响	166
4.5.2	合金含量对铁基粉末冶金材料淬透性的影响	168
4.5.3	孔隙度对热处理的铁基粉末冶金材料疲劳强度的影响	169
4.6	铁基粉末冶金零件的化学热处理	170
4.6.1	铁基粉末冶金零件表面(层)硬化的三个特有问题的影响	170
4.6.2	铁基粉末冶金零件的渗碳处理	171
4.6.3	铁基粉末冶金零件的碳氮共渗处理	172
4.6.4	铁基粉末冶金零件的铁素体氮碳共渗(FNC)	173
4.6.5	预测表面硬度和碳含量的数字模型	175
4.7	表面处理	177
4.7.1	封闭烧结零件表面孔隙的方法	178
4.7.2	电镀	179
4.7.3	表面化学处理	181
4.7.4	滚筒研磨	182
4.8	含油处理、清洗及去毛刺	183
4.8.1	含油处理	183
4.8.2	清洗	184
4.8.3	去毛刺	185
参考文献		187
附录 1	在汽车制造中常用的粉末冶金零件.....	188
附录 2	常用工程数据与资料.....	223
附录 3	ISO 5755: 2001 E (GB/T 19076—2003) 烧结金属材料规范	238

第1章 概 论



粉末冶金是一门制造金属粉末，以金属粉末（包括混入有非金属粉末者）为原料，用成形-烧结制造材料或制品的技术学科。广义上，它也包括以氧化物、氮化物、碳化物等非金属化合物粉末为原料，用成形-烧结制造材料或制品的技术。

这里所讲的成形，是指赋予金属粉末等原料粉末以所要求的金属制品的形状与尺寸。

用粉末冶金技术制造的金属材料或制品叫做粉末冶金材料或制品，或谓之烧结金属材料或烧结制品。

本书着重点，是介绍粉末冶金汽车结构零件的生产、发展及在汽车制造中的应用。

20 世纪 70 年代以来，随着汽车产业的发展，铁基粉末冶金零件在汽车制造中的应用日新月异，新材料，新工艺，新技术层出不穷。

为适应粉末冶金产业与技术发展的需要，便于技术人员了解粉末冶金，在编写本书时，在第 1 章首先阐述了粉末冶金零件的生产工艺概况，粉末冶金零件的各种技术特性和应用，以及粉末冶金零件在汽车制造中的应用。以便于不了解和想从事粉末冶金相关工作的人员，特别是汽车产业的生产管理与设计技术人员，通过学习本书，可以增进对粉末冶金零件生产工艺、使用性能的了解。对于粉末冶金产业的从业人员，通过学习本书，可以加深对粉末冶金零件生产技术与发展的了解，激活思路，开阔视野，提高业务水平。

1.1 粉末冶金技术概要

粉末冶金是一门古老的冶金技术。我国早在 2500 多年以前的春秋末期，就已用块炼铁（即海绵铁）锻造法制造铁器了。公元 4 世纪，古印度用同一工艺制成了举世闻名的德里铁柱（高 7.2m，重 6t）和达尔铁柱（高 12.5m，重 7t）。块炼铁是用木炭还原铁矿制成海绵铁，这和现在还原铁粉的生产工艺相似。以块炼铁为原料锻造铁器的工艺过程和现代的粉末锻造工艺相似，故可称之为早期的粉末锻造技术。这项技术后来由于炼铁技术的兴起而从历史舞台上消失。进入 18 世纪后，为制取金属铂，粉末冶金重新焕发了青春。从而，使粉末冶金这门古老的冶金技术开始进入现代科学技术发展的行列。

继金属铂之后，在 19 世纪后期至 20 世纪初，用粉末冶金方法制取了具有划时代意义的金属钨。之后，又用粉末冶金方法制取了钼、钽、铌等难熔金属，从而为现代电子与电光源工业的发展奠定了物质基础。

20 世纪初, 继难熔金属之后, 用粉末冶金技术陆续研制成功了硬质合金、多孔性金属含油轴承、钨-铜与钨-铜-镍复合材料等。

20 世纪 40 年代, 欧洲开始工业生产铁粉。第二次世界大战时, 最引人注目的粉末冶金技术是铁基制品的发展。当时, 德国为用含浸石蜡的烧结铁弹带取代铜弹带, 铁粉的最高月耗用量达到过 3175t。

汽车工业的发展推动了现代粉末冶金技术的进步。汽车制造业现已成为粉末冶金工业的最大用户, 2010 年欧洲生产的粉末冶金结构零件 80% 用于汽车制造, 在日本为 90%, 在北美为 75%。

现代粉末冶金工业, 除了通常所讲的生产铁粉、铜粉等金属粉末和生产铁基、铜基粉末冶金制品等产业外, 广义地讲, 还应包括用粉末冶金技术制造的所有产品门类的产业, 诸如难熔金属制品、硬质合金、金刚石-金属制品、软磁与硬磁铁氧体元件、技术陶瓷、电触头材料、多孔性金属过滤器、金属-石墨材料等产业。现在用粉末冶金技术制造的材料或制品, 大体上可分为以下五类:

- ① 粉末冶金机械零件, 其中包括烧结金属含油轴承、烧结金属结构零件及烧结金属摩擦材料与制品等;
- ② 铁氧体磁性材料, 其中包括永磁铁氧体材料、软磁铁氧体材料;
- ③ 硬质合金材料与制品, 其中包括工具材料、耐磨材料、耐高温与耐腐蚀材料;
- ④ 难熔金属或高熔点金属材料与制品, 诸如钨、钼、钽、铌;
- ⑤ 精细陶瓷材料与制品。

以上五大类材料与制品都是以粉末为基本原料, 用成形-烧结工艺制造的。因此, 使用的生产设备大体上也是相互通用的, 诸如粉末成形压力机、冷或热等静压机。当然, 有些设备是不同的, 如烧结炉等。本书中所介绍的模具既照顾到了以上五大类粉末冶金材料制造中通用的模具, 又以粉末冶金零件生产中使用的模具为主要对象给予了较详细的说明。

1.1.1 粉末冶金机械零件的发展

粉末冶金机械零件是当前粉末冶金工业的主导性产品。广泛使用的粉末冶金机械零件材料有烧结铁、烧结碳钢、烧结低合金钢、烧结合金钢、烧结不锈钢、烧结铝与烧结铝合金、烧结铜与烧结铜合金、烧结镍基合金等。

早期的粉末冶金机械零件主要是含油轴承与垫圈之类制品, 形状简单且力学性能较低。近 40 年来, 由于钢铁粉末、粉末成形压机、模具、烧结炉等的不断改进, 组合烧结、粉末锻造、注射成形、温压以及冷、热等静压制等工艺技术的相继开发, 制造的粉末冶金结构零件形状越来越复杂, 材料的力学性能越来越高, 像汽车发动机中承受动态应力最高的连杆, 现在不但可用粉末锻造生产, 甚至可用一次压制-烧结工艺制造。利用温压技术, 用一次压制-烧结就可使铁基粉末冶金零件的材料密度达到 7.4g/cm^3 以上, 从而使材料的力学性能显著增高。因此, 粉末冶金机械零件的市场一直在不断扩大。

表 1-1 为粉末冶金零件与材料的种类与用途。由表 1-1 可看出粉末冶金工业应用范围之广阔与未来发展的前景。

表 1-1 粉末冶金零件的种类与用途

类别	种别	材料及特性	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、纺织机械、仪表、缝纫机、复印机、电动工具等
	滑动轴承	(1) 烧结金属含油轴承。孔隙度为 15%~25% 的铁基与铜基多孔性轴承, 孔隙中充满润滑油 (2) 钢背烧结合金轴承。第一层为钢背, 第二层为烧结铜铝合金 (3) DU、DX 轴承等	汽车、机床、飞机、内燃机、铁路车辆、纺织机械、缝纫机、冶金机械、录音机、录像机、微电机等 汽车和内燃机中的曲轴轴瓦、连杆轴瓦等

续表

类别	种别	材料及特性	应用例
机械零件	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、机床及动力机械上的摩擦组件
	过滤元件及其他多孔性材料	(1)过滤元件。是由球形青铜、镍、铁、不锈钢及其他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)发汗冷却材料。是由镍、镍铬合金、不锈钢及其他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。是由细金属纤维制造的高孔隙度(达 80%)制品	化工、机床、飞机、汽车、内燃机等用于过滤各种气体与液体,用作射流元件中的多孔性金属过滤器 飞行器中用作多孔性发汗冷却元件 吸声板,特殊用途的过滤元件
电气零件与材料	电触头	由难熔金属(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。是由银与石墨或铜(或铜合金)与石墨制成的假合金 (2)烧结合金滑板。是用粉末冶金法制造的铁基与铜基合金滑板	各种发电机、电动机等用的集电电刷 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	真空器件的封接材料
	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、铁铜磷铝合金、铁硅合金、铁镍合金、铁铝合金材料与制品	无线电设备、仪器、仪表等
	硬磁零件	铝镍铁合金、铝镍钴铁合金、钐钴合金、钕铁硼合金等的制品	
	磁介质零件	由软磁材料与电介质组合物制成的制品,如 Al-Si-Fe 粉芯等	
工具材料与制品	硬质合金	(1)钨-钴类合金。以碳化钨为基,以钴为黏结剂的合金 (2)钨-钛-钴合金。以碳化钨、碳化钛为硬质相,以钴为黏结相的合金	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他金属
	合金工具钢	高速钢等	切削工具、模具等
	金刚石-金属工具	碳化金属-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
	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
耐热零件	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,它们彼此间的化合物以及它们与各种金属的化合物	高温下工作的涡轮机中的各种零件,切削工具
	弥散强化合金	Al-Al ₂ O ₃ 、Cu-Al ₂ O ₃ 、Nb-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 制作的内燃机活塞
	核燃料材料	将 U 及其化合物 UAl ₂ 、UAl ₃ 、UAl ₄ 、UBe ₁₃ 、UC、UC ₂ 、UO ₃ 等分散于基体金属 Al、Be、Fe、Mg、Mo 等中的弥散型燃料	用作原子能反应堆的燃料
原子能反应堆材料	减速和反射壁材料	热中子减速能量大,且吸收断面小的物质,如 Be、BeO、Be ₂ O 等	原子能反应堆
	结构材料	热中子吸收断面小的金属与合金,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	
	控制与屏蔽材料	热中子吸收断面大,强度高,质量小和耐蚀性好的金属与合金,如 B、B ₄ C	

材料利用率/%	铸造	粉末冶金	冷成形	锻造	机械加工	零件的能耗/MJ·kg ⁻¹
90						18
95						28.5
85						11
80						49
50						82

粉末冶金零件之所以能取代铸件、锻件及切削加工零件，在汽车等产业中得到大量应用，主要是由于：

不论是生产形状简单的还是复杂的,具有或接近成品零件尺寸公差的零件,在生产率为每小时几百件到几千件的条件下,粉末冶金工艺的生产成本都是可行的。即使需要切削加工,加工量也很小。为了更精密地控制尺寸公差,粉末冶金零件还可以进行精整,或进行复压,以使零件材料达到较高的

另外,铁基与非铁金属粉末冶金零件都可含浸以润滑油,起到自润滑轴承的作用。需要的话,铁基粉末冶金零件可浸以树脂,将连通孔隙密封,然后进行镀覆;可用熔点较低的金属进行熔渗,以增高零件材料的强度与冲击韧度;可进行热处理,以增高零件材料的强度与硬度。

② 用粉末冶金生产组合零件可省掉组装工序

③ 粉末冶金零件材料标准日益完善,粉末冶金零件材料的力学性能日益增高。现在,用烧结的预成形坯进行精密热锻,即所谓的“粉末锻造”工艺,已经应用在大量生产粉末冶金零件中,诸如汽车发动机连杆,从而大大提高了粉末冶金零件材料的强度、韧度及疲劳寿命,见图 1-2。

粉末冶金零件的技术经济特点如下：

- ① 不需要或只需要极小量的切削加工；
- ② 节材，无废料或废料极少；
- ③ 可保持精密的尺寸公差；
- ④ 可生产各种各样的合金材料；
- ⑤ 表面粗糙度好；
- ⑥ 为增高强度或耐磨性，可提供能热处理的材料；
- ⑦ 为进行自润滑与过滤，可提供具有可控孔隙度的材料；
- ⑧ 便于制作用其他金属加工方法不能生产的复杂或特殊形状零件；
- ⑨ 粉末冶金零件具有极好地再现性；
- ⑩ 适合中等、大批量生产；
- ⑪ 对于重要应用，可提供长期、可靠的使用性能；
- ⑫ 价格可行；
- ⑬ 节能；
- ⑭ 对环境无公害。

基于以上特点，从 20 世纪 30 年代开始，粉末冶金零件生产伴随着汽车制造业的发展，从烧结金属含油轴承已逐步形成一个精密金属零件成形的产业。

1.1.2 粉末冶金零件生产过程

尽管粉末冶金零件的材料千差万别，但其生产过程大同小异。图 1-3 示出典型的粉末冶金零件生产过程。

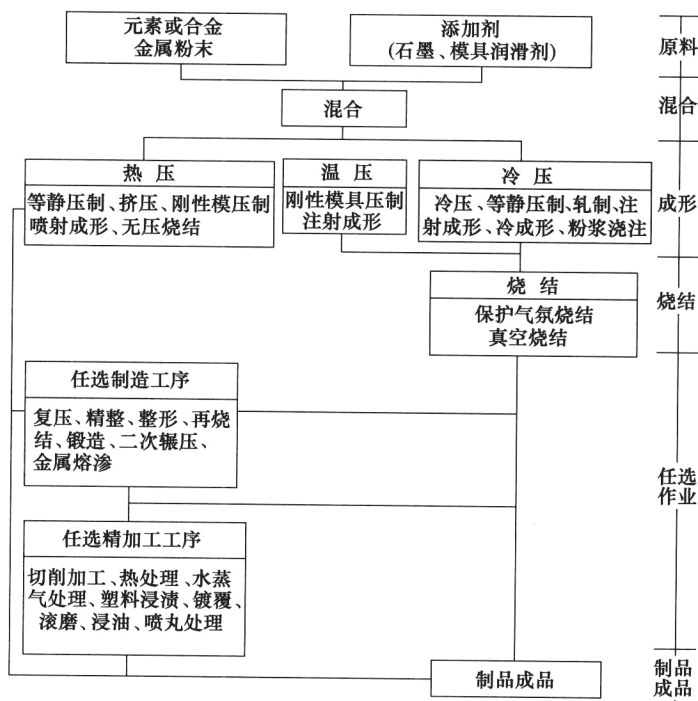


图 1-3 粉末冶金零件或制品生产过程

以铁基粉末冶金零件为例予以说明。其基本原料粉末为铁粉，所添加的合金元素粉末有石墨粉、铜粉、镍粉、钼粉、磷铁粉等，另外添加以压制用固体润滑剂，诸如硬脂酸锌、硬

脂酸等，将它们装于混料机中混合均匀。将混合好的粉末定量地装于模具中，在粉末成形压机上压制成形，制成生坯，即未烧结的零件压坯。然后，将压坯装于烧结炉中，在保护气氛下，在低于主要组分熔点的温度下进行加热，也就是所谓的烧结，以使粉末颗粒相互焊接在一起，从而赋予烧结的零件压坯以足够高的力学强度，以满足零件的各项技术要求。因此，也将烧结的零件压坯称为烧结金属零件。有时，添加量较少的其他组分，诸如铜，在烧结温度下会熔化，通常将有液相出现的烧结过程称为液相烧结。但是，液相的数量必须是有限的，以便使烧结的零件压坯保持其形状。在一些特殊场合，压制是在高温下完成的，这种压制被称之为热压或加压烧结。

在许多场合下，烧结的零件还需要进行后续处理或加工，诸如精整、整形、镀覆、水蒸气处理、去毛刺、切削加工、热处理和浸油等。

由于粉末冶金是在低于基本材料熔点的温度下，通过成形-烧结制造金属材料与制品的，所以，也将粉末冶金称为固态冶金，以与传统的熔炼冶金相区别。

粉末冶金工艺一般和大批量生产相关，生产速率可达每小时几百件到上千件，但是，也能经济地生产批量较小的零件。另外，若能将模具扩大到用于成形一种以上的零件，诸如厚度不同或具有不同尺寸孔的零件时，都能增强粉末冶金小批量生产的经济合理性。再者，零件设计必须体现粉末冶金工艺的优势，与竞争的工艺制造该零件时比较，可将所需的后续加工作业减小到最小限度。若能考虑到这些因素，则粉末冶金零件往往具有生产过程短，生产成本较低及使用性能好的优势。

(1) 粉末冶金生产的基本工序

用粉末冶金工艺生产一般零件的三道基本工序是混合、压制及烧结，见图 1-3。

① 混合 为获得成分均匀的混合粉，首先，要将元素的、部分合金化的或预合金化的金属粉末和润滑剂或其他合金添加剂进行混合。这些添加剂可赋予基本合金成分以切削性、耐磨性或润滑性。混合可由金属粉末生产企业或粉末冶金零件制造厂家来进行。

② 压制 通常，是将数量可控的粉末混合物自动地重力充填于精密模具中，在室温，于压力 $138 \sim 827 \text{ MPa}$ 下压制成形，压力大小取决于对零件要求的密度与压制用的粉末。一般使用的压力范围为 $345 \sim 690 \text{ MPa}$ 。压力较高会减小模具寿命，特别是纤薄或易坏的模具零件。

用常规压制技术将松散粉末压制成“生坯”后，从模具中脱出时，具有最终零件的形状与尺寸，并具有足够高的强度，从而使之可在生产过程中进行搬运，并被输送到烧结炉进行烧结。常规压制技术皆使用装在专用机械式或液压式压机上的刚性模架进行压制。

模具是用淬硬钢和/或硬质合金制造的，而且，其至少是由一个阴模，一个上模冲与一个下模冲，以及在某些场合，一个或多个芯棒组成。为了能承受高压压力和金属粉末的磨蚀，要根据具体工况，选择适用的模具材料。

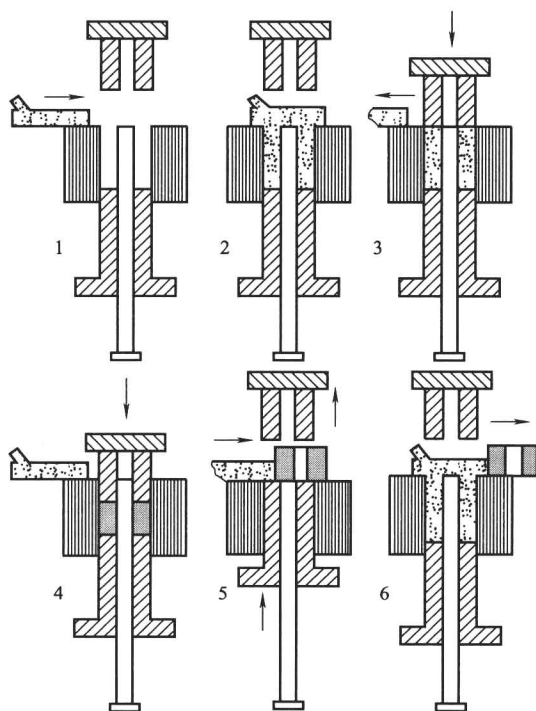


图 1-4 一个台面零件的压制周期

1—压制周期开始；2—向阴模中装粉；3—压制开始；

4—压制完成；5—脱出零件；6—再次装粉