

粉末冶金 实用工艺学

上海市新材料协会粉末冶金分会 编
上海汽车股份有限公司粉末冶金厂
张华诚 主编



冶金工业出版社

粉末冶金实用工艺学

上海市新材料协会粉末冶金分会
上海汽车股份有限公司粉末冶金厂 编

张华诚 主编

北 京
冶金工业出版社
2004

内 容 简 介

本书是为粉末冶金机械零件制造的技术工人(特别是高级技师)和技术人员(现场工程师)学习和掌握理论知识及应用技术而编写的。书中较系统地介绍了粉末冶金共性的理论知识,铁、铜基粉末及其机械结构零件的制造工艺及设备;产品工序质量问题产生原因分析及其应采取的改进措施,以及粉末冶金生产的质量管理体系和企业管理等有关内容。

全书共分三篇十五章,内容包括还原铁粉生产工艺;雾化法生产钢铁粉末;铜粉末生产;生产还原铁粉的主要设备;常用金属粉末性能及其检测;压制工艺及其设备;烧结工艺及其设备;后加工工艺及其设备;模具设计及其制造;粉末冶金结构材料及其检测;粉末冶金零件生产示例;其他粉末冶金成形技术;计算机应用及生产自动化;质量管理体系;企业管理等。

本书可供铁、铜基粉末及其机械结构零件生产的各级技术工人及现场工程师自学和作为培训教材,亦可供从事粉末冶金零件生产的管理、营销、设计、工艺等人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金实用工艺学/张华诚主编. —北京:冶金工业出版社,2004.9
ISBN 7-5024-3562-X

I. 粉… II. 张… III. 粉末冶金—工艺学
IV. TF12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 064340 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)
责任编辑 郭庚辰(13693126653) 美术编辑 王耀忠
责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 牛晓波
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销
2004 年 9 月第 1 版,2004 年 9 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 35.25 印张;965 千字;535 页
90.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893
冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

粉末冶金作为高新技术产业,在现代工业发展及国民经济中起着不可缺少的作用。改革开放以来,我国粉末冶金行业通过对外引进先进制造技术及关键设备,对内进行大规模的技术改造,粉末冶金机械零件、减摩材料与摩擦材料等的生产已逐步成为具有较大规模的产业。粉末冶金机械零件应用范围也起了很大变化,从单纯为农机配套,已深入到为汽车、摩托车、家用电器、电动工具、办公机械、农用机械、通信设备等十几个领域配套,出口日见扩大,一批高精度、高强度的产品应运而生。我国加入世贸组织之后,国际市场将提供很大空间,粉末冶金产品市场进一步扩大,粉末冶金发展潜力很大。但是,技术支撑和质量保证体系是制约多数粉末冶金企业提高竞争力、走向国际市场的重要因素。

粉末冶金产品的生产发展,其生命力在于“高质量、高效率、低成本”。粉末冶金零件生产集机械-冶金等技术于一体,自动化程度高、生产节奏快,生产过程中产生的技术、质量问题需及时处理,因此在生产现场需要一批既能动脑又能动手、具有较高知识层次、较强创新能力的新型人才,即眼下紧缺的“灰领”人才。据有关资料介绍,目前全国城镇企业共有职工 1.4 亿人,在 7000 万技术工人中,高级技师只占 0.41%,技师也只占 3.1%。也就是说,目前我国各行各业(包括粉末冶金行业)中都存在着“灰领”人才紧缺现象。长此下去,必将严重影响我国经济的持续发展。同样,也会使粉末冶金行业的竞争能力受挫。为此,我们必须抓紧粉末冶金发展的有利时机,大力培养具有较高技术理论水平,有一定实际技能,既能在生产一线分析问题、搞技术创新,又会实际操作的复合型人才,以使我国粉末冶金工业能够满足国民经济发展的需要,赶上或超过世界先进水平,立足于世界之林。

由于原机械工业部组织制定的粉末冶金工人技术等级标准及其与之配套的培训教材,已不适应当今粉末冶金零件的生产水平,为了培养粉末冶金零件生产的复合型人才,粉末冶金行业协会和上海汽车股份有限公司粉末冶金厂共同组织资深专家编写了这本《粉末冶金实用工艺学》。这本实用工艺学以“知识的科学性、系统性、完整性”为原则,从专业生产需要出发,适当考虑今后发展和提高的需要,尽量介绍最新的粉末冶金生产技术,以适应初、中、高各级技术工人自学和培训的需要,也可作为高等院校培养技术人员(现场工程师)的教材。

培养复合型的技术工人和技术人员,是一项战略性的任务。我们不仅需要有一大批新生技术力量加入到粉末冶金行业中来,更需要对在岗的技术工人和技术人员进行比较系统的技术培训。但愿《粉末冶金实用工艺学》为我国粉末冶金工业的发展做出应有的贡献!

中国机协粉末冶金专业协会
上海市新材料协会粉末冶金分会

会长 倪冠曹

2004 年 3 月 18 日

前 言

用模压成形法生产粉末冶金机械零件,是一门金属精密成形技术。用这种技术生产的机械结构零件,是粉末冶金制品在现代工业中应用最广、产量最大的产品。

模压成形法生产粉末冶金机械零件的基本工艺是:混(料)—压(制)—烧(结),涉及材料工程、冶金工程、机械工程等多学科知识。随着粉末冶金机械零件的应用领域不断扩大,零件结构形状越来越复杂,材料性能要求不断提高,粉末冶金新材料、新技术、新工艺、新装备不断涌现,使这门技术在粉末冶金技术应用中占有不可取代的地位。为了使生产一线的广大技术工人及技术人员学习和掌握这门技术的有关知识,以适应量大面广的粉末冶金零件生产发展的需要,上海市新材料协会粉末冶金分会和上海汽车股份有限公司粉末冶金厂共同组织有关人员编写了这本《粉末冶金实用工艺学》。

本书编写以“粉末冶金共性的理论知识为基础,铁铜基烧结机械零件制造技术为重点,突出生产实用”为原则,深入浅出、学以致用,可以短期速成,又可循序渐进,以适应不同层次的技术工人和技术人员的学习和培训需要。

本书共分三篇十五章,内容有:原材料(铁、铜粉末)及其粉末冶金零件的制造技术及生产设备,粉末冶金结构材料性能及检测;其他粉末冶金成形技术及计算机应用和生产自动化简介;粉末冶金生产的质量管理体系及企业管理等。此外,还列举了4个不同形状及性能要求的粉末冶金零件生产工艺示例,以便学员能较系统掌握及应用有关知识。书后附有粉末冶金零件制造的有关技术资料,供生产中使用。

本书由张华诚任主编,李森蓉任副主编。编写分工是,第一章至第五章:李森蓉、周靖竑、李品、张怀泉;第六章:张华诚、宗华辉;第七章、第八章:王兴庆、张华诚;第九章、第十一章:张华诚;第十章:何宝山、张华诚;第十二章:何宝山、吴菊清;第十三章:陶永祺、张华诚;第十四章、第十五章:张华诚、宗华辉、匡小航、邬忠伟、何兵。全书由谢行伟、吴菊清、隋永江校审。

在编写过程中自始至终得到了编委会主任倪冠曹同志的关心和大力支持,还得到了白佳声、王家龙、翁槐、陈慧根等同志的支持,在此深表谢意。

由于我们水平有限,难免存在不足,恳请广大读者批评指正。

《粉末冶金实用工艺学》编委会

2004年5月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 钢铁粉末及铜粉末生产

第一章 还原铁粉生产工艺	5
第一节 铁粉制取方法概述	5
一、铁粉制取方法和一般特征	5
二、铁粉的主要性能和用途	5
(一) 铁粉在粉末冶金结构零件制造中的应用	5
(二) 铁粉在电焊条生产、火焰切割等方面的应用	6
(三) 铁粉在食品防腐、保鲜及医药方面的应用	6
三、还原法制取铁粉	6
第二节 固体碳还原法制取铁粉的工艺	7
一、固体碳还原法制取铁粉工艺流程	7
二、原料的加工处理	8
(一) 氧化铁	8
(二) 还原剂	9
三、隧道窑一次还原	10
(一) 还原的工艺过程	10
(二) 影响还原过程和铁粉质量的因素	12
(三) 还原终点及海绵铁氧化的控制	14
四、海绵铁破碎工艺	16
五、铁粉二次还原工艺	17
第三节 氧化铁还原基本原理	19
一、碳还原铁氧化物的基本原理	19
二、氢还原铁氧化物的基本原理	21
第四节 气体还原法制取铁粉的工艺	22
一、氢还原法制取铁粉的工艺——派隆法	23
(一) 铁鳞及其预处理	23
(二) 还原	23
(三) 铁粉的物理、化学性能	23
(四) 派隆法的特点	24
二、流态化床还原法	24

(一) 原料	24
(二) 制氢	24
(三) 还原	24
(四) 氢气循环	25
(五) 热处理	25
(六) 铁粉的物理、化学性能	25
(七) H-铁法的特点	25
第五节 还原合金铁粉的生产	26
一、用共还原法制取合金铁粉	26
(一) Fe-0.4Mo 粉的制取与性能	26
(二) Fe-Ni-Mo 粉的制取与性能	27
二、部分预合金铁粉的制取与性能	27
(一) 部分预合金铁粉的制取、优点及颗粒结构	27
(二) 部分预合金铁粉的种类与性能	29
思考题	31
第二章 雾化法生产钢铁粉末	32
第一节 概述	32
第二节 雾化法生产金属粉末的基本原理与影响因素	32
一、雾化法的基本原理	32
二、喷嘴结构	34
三、影响雾化粉末性能的工艺因素	36
(一) 雾化介质	36
(二) 影响粉末性能的工艺因素	37
第三节 水雾化法制取钢铁粉末工艺	38
一、水雾化法制取钢铁粉末的工艺特点	39
二、水雾化钢铁粉末的制造工艺	39
(一) 主要工艺参数	39
(二) 制造工艺	41
三、水雾化钢铁粉末的主要技术性能	42
第四节 气雾法制取钢铁粉末工艺	45
思考题	47
第三章 铜粉末生产	48
第一节 水溶液电解法生产铜粉	48
一、水溶液电解法生产铜粉的基本原理与工艺	48
(一) 基本原理	48
(二) 生产工艺	48
二、影响铜粉粒度和电流效率的因素	49
(一) 金属离子浓度的影响	49

(二) 酸度的影响	49
(三) 电流密度的影响	49
(四) 电解液温度的影响	49
(五) 电解时搅拌的影响	50
(六) 刷粉周期的影响	51
三、电解铜粉的防氧化处理	51
第二节 雾化法生产铜粉	51
一、气体雾化法制取铜和铜合金粉工艺	51
二、工业生产应用实例	52
(一) 主要工艺参数	52
(二) 操作要点	52
(三) 生产中的注意事项	53
思考题	54
 第四章 生产还原铁粉的主要设备	55
第一节 工业炉	55
一、隧道窑	55
二、铁粉精还原带式炉	57
(一) 炉子结构	57
(二) 工艺控制及设备运行特点	60
三、氨分解炉	61
(一) 氨分解炉的主要结构	61
(二) 氨分解炉主要技术参数	61
第二节 粉碎与筛分设备	61
一、破碎机	61
(一) 颚式破碎机	61
(二) 锤式破碎机	63
(三) 高速离心粉碎机(万能粉碎机)	68
二、粉磨设备	68
(一) 格子型球磨机	68
(二) 溢流型球磨机	70
(三) 悬辊式粉磨机(雷蒙磨)	72
三、筛分设备	73
第三节 磁选设备	74
一、磁选基本原理	74
二、磁选机	75
思考题	77
 第五章 常用金属粉末性能及其检测	78
第一节 金属粉末的性能	78

一、化学成分	78
(一) 铁粉杂质含量与制造方法的关系	79
(二) 铁粉中的锰、硫、磷、碳、 SiO_2 等对铁粉质量的影响	79
(三) 铁粉中氧含量对铁粉质量的影响	79
二、物理性能	79
(一) 粉末颗粒形状	80
(二) 粉末粒度和粒度组成	80
(三) 粉末的比表面	82
三、工艺性能	83
(一) 松装密度与振实密度	83
(二) 流动性	83
(三) 压缩性和成形性	84
第二节 金属粉末性能的检测	84
一、金属粉末取样方法	84
(一) 取样原理	84
(二) 取样器具	85
(三) 增量数	87
(四) 取样方法	87
二、金属粉末中酸不溶物的测定	87
(一) 适用范围	88
(二) 试剂	88
(三) 测定方法	88
三、氧含量的测定方法	89
(一) 氢还原减重的测定方法(氢损)	89
(二) 氢可还原氧的测定	90
四、金属粉末粒度组成的测定	92
五、金属粉末密度的测定	92
(一) 金属粉末松装密度的测定	92
(二) 金属粉末振实密度测定方法	93
六、金属粉末流动性的测定	95
(一) 测定装置	95
(二) 测定方法	95
七、金属粉末压缩性的测定	95
(一) 符号和名称	96
(二) 设备	96
(三) 取样	96
(四) 测定方法	97
(五) 结果计算及表示	97
八、压坯强度(成形性)的测定	97
(一) 测定设备	97

(二) 取样	98
(三) 测定方法	99
(四) 结果计算及表示	99
九、转鼓试验	100
思考题	101

第二篇 粉末冶金零件生产

第六章 压制工艺及其设备	103
第一节 模压成形原理	103
一、模压成形的基本概念	103
(一) 模压成形过程	103
(二) 常用的模压成形方式	104
二、压制过程中力的分析及计算	105
(一) 压制压力	105
(二) 侧压力与剩余侧压力	108
(三) 脱模压力	109
三、压制方式的分析与选择	110
(一) 无台阶柱状实体类压坯的压制方式分析	111
(二) 带孔无台阶柱体类压坯的压制方式分析	114
(三) 压制方式的选择	118
四、压坯密度均匀性分析	119
(一) 简单形状压坯密度的分布	119
(二) 压制过程中粉末移动状态分析	120
(三) 各种不同形状压坯密度的分布	122
第二节 粉末混合及其设备	125
一、混合粉的基本要求	125
(一) 原辅材料的要求	125
(二) 混合粉的要求	126
二、粉末混合工艺及操作规程	127
(一) 粉末混合工艺	127
(二) 粉末混合操作规程	128
三、粉末混合的设备	129
(一) V形混料机	129
(二) 双锥形混料机	129
(三) 螺旋推进器式混料机	129
四、影响混合均匀度的因素	130
第三节 压制工艺及其操作规程	130
一、压制有关的参数	130

(一) 压制压力(P)反脱模力(P_c)	130
(二) 压制方式	130
(三) 压坯回弹率(弹性后效)	130
(四) 压缩比与装填系数(k)	131
二、压制工艺制定	132
(一) 考虑的因素	132
(二) 压制工艺的制定	132
三、压制操作规程	133
(一) 压制前的准备	133
(二) 压制过程操作	133
四、压制过程影响压坯质量的因素	133
(一) 模具及润滑剂的影响	133
(二) 压制参数的影响	134
(三) 压制方式及粉末移动补偿的影响	135
第四节 粉末成形模具	135
一、对粉末成形模具的基本要求	135
(一) 成形模具总成要求	135
(二) 模具主要零件要求	135
二、成形模具结构实例	136
(一) 压坯基本形状分类	136
(二) I类零件的压坯成形模具结构示例	138
(三) II类零件的压坯成形模具结构示例	139
(四) III类零件的压坯成形模具结构示例	141
(五) IV类零件的压坯成形模具结构示例	141
(六) V类零件的压坯成形模具结构示例	143
三、常见粉末冶金模架	147
(一) 粉末成形模架基本类型	147
(二) 几种典型模架示例	148
四、模具常见损坏情况及改进措施	151
第五节 粉末成形设备	155
一、粉末成形设备的基本要求	155
(一) 压制力及上模冲动作装置	156
(二) 脱出力及下模冲动作装置	157
(三) 阴模及芯棒动作装置	157
(四) 送料装置(装料系统)	158
(五) 装料深度(高度)及压制和脱模行程	158
(六) 其他因素	159
二、常见粉末成形设备	159
(一) 机械式粉末成形压机	159
(二) 液压式粉末成形压机	163
(三) 机械式和液压式压机的比较	165

三、压机的保养与安全	166
(一) 压机保养	166
(二) 压机安全	166
第六节 压坯质量分析	167
一、常见的压坯缺陷及改进措施	167
二、压制过程中压坯裂纹分析	169
(一) 粉末移动补偿不当而产生的裂纹	169
(二) 压坯形状不同而产生的裂纹	170
三、压坯的质量检测与控制	170
(一) 压坯密度的检测	170
(二) 表观质量	170
(三) 几何尺寸及形位精度的检测	170
思考题	171
 第七章 烧结工艺及其设备	173
第一节 烧结基本原理	173
一、基本概念	173
(一) 烧结的定义及其目的	173
(二) 烧结的要求	174
(三) 烧结的分类	174
二、烧结基本原理	175
(一) 烧结过程	175
(二) 烧结是如何进行的	176
(三) 为什么会发生烧结	176
第二节 固相烧结	177
一、单元系烧结	177
(一) 定义	177
(二) 烧结温度	177
(三) 烧结时间	178
(四) 烧结零件显微组织变化	178
(五) 影响烧结过程的因素	179
二、多元系固相烧结	179
(一) 无限互溶系烧结	180
(二) 有限互溶系烧结	180
(三) 互不相溶系烧结	181
第三节 液相烧结及活化烧结	181
一、液相烧结	181
(一) 液相烧结的条件	182
(二) 液相烧结过程和机构	182
(三) 液相烧结零件的合金组织	183

(四) 铁铜合金的液相烧结	183
二、活化烧结	184
(一) 基本原理	184
(二) 活化烧结的方法	184
第四节 烧结工艺	185
一、烧结工艺及其操作规程	185
(一) 烧结工艺的制定	185
(二) 烧结气氛的控制	186
(三) 烧结操作规程	187
二、铁基粉末冶金零件的烧结工艺	188
(一) 烧结过程分析	188
(二) 烧结温度的选择	190
(三) 烧结条件对烧结零件性能的影响	191
三、铜基粉末冶金零件的烧结工艺	191
(一) 烧结过程分析	191
(二) 烧结温度的选择	192
(三) 铜基材料烧结要点	192
四、真空烧结工艺	192
(一) 基本概念	192
(二) 真空烧结工艺	194
(三) 真空烧结的应用	194
五、特殊烧结工艺	195
(一) 组合烧结工艺	195
(二) 熔渗烧结工艺	197
(三) 钎焊烧结工艺	198
第五节 烧结炉	198
一、对粉末冶金烧结炉的要求及其种类	198
(一) 对烧结炉的要求	198
(二) 烧结炉的种类	198
二、常用的连续式烧结炉	199
(一) 网带式烧结炉	199
(二) 步进梁式烧结炉	201
(三) 推杆式烧结炉	202
三、常见的间歇式烧结炉	203
(一) 钟罩式加压烧结炉	203
(二) 真空烧结炉	204
四、烧结炉的使用与维护	205
(一) 烧结炉的使用	205
(二) 烧结炉的维护	207
第六节 烧结气氛及其制备	207

一、烧结气氛的作用和分类	208
(一) 烧结气氛的作用	208
(二) 烧结气氛的分类	208
二、烧结气氛与烧结体的反应	209
(一) 氧化和还原	209
(二) 渗碳和脱碳	210
三、常见烧结气氛的制备	211
(一) 碳氢化合物转化气体的制备	211
(二) 氢氮混合气体的制备	213
(三) 氮基气氛	215
(四) 新型空气分离制氮设备	215
四、铁碳合金烧结气氛的选择和控制	216
五、烧结炉内气氛测定方法	217
(一) 露点杯及露点仪	217
(二) 碳势的测定与控制	218
第七节 烧结质量分析及改进措施	218
一、烧结零件常见缺陷分析及改进措施	219
(一) 烧结件的变形及尺寸超差分析	219
(二) 烧结件表面缺陷分析	219
二、常见烧结炉使用问题的检验方法	221
(一) 铜/钢实验法	221
(二) 渗铜实验法	222
思考题	222
 第八章 后加工工艺及其设备	224
第一节 精整、整形和复压	224
一、基本概念	224
(一) 精整	224
(二) 整形	225
(三) 复压	225
二、精整(整形)和复压的工艺	226
(一) 精整(整形)生产工艺	226
(二) 复压复烧生产工艺	227
三、精整、整形和复压的模具及其设备	228
(一) 精整、整形和复压的模具	228
(二) 精整(整形)和复压用的设备及其模架	234
四、生产中常见的质量问题及改进措施	237
第二节 粉末冶金零件的机加工	240
一、车削与镗削	240
二、刨削与铣削	241

(一) 铇削	241
(二) 铣削	241
三、钻孔与铰孔	241
(一) 钻孔	241
(二) 铰孔	241
四、攻丝	242
五、磨削及挤光	242
(一) 磨削	242
(二) 挤光	242
第三节 粉末冶金零件的热处理	243
一、粉末冶金零件的热处理特点	243
二、烧结钢加热时组织结构的转变	244
(一) 奥氏体的形成及加热温度	244
(二) 烧结钢在冷却时的转变	245
(三) 不同条件下烧结钢的组织与性能	245
三、几种常用的热处理方法	247
(一) 退火和正火	247
(二) 淬火	248
(三) 回火	249
(四) 淬火与回火对烧结钢性能的影响	250
(五) 真空淬火	250
四、几种常用的表面硬化处理	251
(一) 渗碳	251
(二) 渗氮	252
(三) 碳氮共渗	253
(四) 高频淬火	253
五、热处理设备	253
第四节 粉末冶金零件的表面处理	254
一、水蒸气处理	254
(一) 基本原理	254
(二) 水蒸气处理工艺	255
(三) 水蒸气处理影响因素	255
(四) 水蒸气处理设备	256
二、电镀处理	257
(一) 封孔方法	257
(二) 电镀工艺	257
第五节 粉末冶金零件的其他处理	258
一、光整加工	258
(一) 光整加工方法	258
(二) 光整加工设备	259

二、焊接	260
三、清洗	262
(一) 超声清洗脱油	262
(二) 电解碱液清洗	262
四、浸油	262
(一) 真空浸油	262
(二) 加热浸油	262
五、硫化处理	263
(一) 硫化处理目的	263
(二) 硫化处理工艺	263
思考题	263
第九章 模具设计及其制造	265
第一节 模具设计的基本原则和方法	265
一、粉末冶金模具设计的基本原则	265
二、粉末冶金模具设计的方法及步骤	266
(一) 掌握模具设计相关资料	266
(二) 确定压制方式和模具结构设计方案	266
(三) 设计并绘制成形模具(架)结构装配总图	266
(四) 模具主要零件的结构设计及尺寸计算	266
(五) 模具材料的选择及要求	267
第二节 粉末冶金零件调研及分析	267
一、粉末冶金零件使用工况的调研	268
二、粉末冶金零件的形状与尺寸精度	268
(一) 粉末冶金零件的形状	268
(二) 粉末冶金零件的尺寸精度及位置精度	271
三、零件生产前其他相关资料	271
第三节 成形模具结构方案设计	274
一、模具结构设计的依据和顺序	274
(一) 模具结构设计的主要依据	274
(二) 成形模具结构设计的顺序	274
(三) 成形模具结构设计需考虑的几个问题	274
二、粉末补偿装粉	275
(一) 补偿装粉作用及基本方法	275
(二) 补偿装粉示例	276
(三) 组合模冲的设计	277
三、模具结构方案设计	282
(一) 成形模具结构基本方案	282
(二) 特殊动作的成形模具结构方案	282
(三) 精整模具结构方案	286

第四节 模具主要零件设计及计算	288
一、模具主要零件结构设计	288
(一) 成形阴模结构	288
(二) 成形芯棒结构	289
(三) 上下模冲结构	290
(四) 精整阴模结构	291
(五) 精整芯棒结构	292
(六) 精整模冲结构	292
二、与模具设计有关的工艺参数	292
(一) 金属粉末的松装密度	293
(二) 压坯的回弹率	293
(三) 烧结收缩率	293
(四) 精整余量和回弹量	294
(五) 复压装模间隙和压下率	294
(六) 工艺参数测试方法	295
三、模具主要零件的尺寸和强度计算	297
(一) 径向尺寸的计算	297
(二) 轴向尺寸的计算	301
(三) 阴模和模套的强度计算	303
四、模具主要零件图设计示例	306
第五节 模具主要零件的材料选择及其制造	310
一、模具主要零件的材料选择及热处理	310
(一) 模具主要零件的材料选择	310
(二) 模具主要零件的热处理	311
二、模具主要零件加工工艺流程	313
(一) 模具加工基准的确定	313
(二) 模具主要零件加工工艺流程	313
三、模具主要零件加工的关键工艺	318
(一) 仿形磨削	318
(二) 电火花加工	321
(三) 数控线切割加工	323
(四) 钳研配	324
四、模具(架)装配及其维修	325
(一) 模具(架)组装目的及方法	325
(二) 模具库管理及模具修复	326
思考题	328
第十章 粉末冶金结构材料及其检测	329
第一节 粉末冶金结构材料的应用	329
一、粉末冶金结构材料性能特性	329