



锻件生产技术丛书

中国锻压协会 编著

特种合金 及其锻造

以特种合金特性及其工艺性能为切入点,论述了锻造工艺性能与制定锻造工艺参数和选择设备的关系及其对锻件质量的影响。每章还分别介绍了军、民用典型锻件的锻造实例。



国防工业出版社

National Defense Industry Press

锻件生产技术丛书

特种合金及其锻造

中国锻压协会 编著

国防工业出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书介绍了高温合金、钛合金、不锈钢、铝合金、镁合金和铜合金等特种合金及其合金化原理以及各类合金的工艺塑性图、变形抗力和三向再结晶图等锻造工艺性能实例,并以此为切入点论述了锻造工艺性能与选择锻造热力学参数和设备的关系及其对锻件质量的影响。还介绍了相应合金锻件和模具的设计特点、关键工序的操作要点以及锻件质量的控制等;每章还分别介绍了军、民用典型锻件的锻造实例。

本书适于作为企业在职锻造技术人员和技术管理人员的培训教材或自学参考书,也可作为高等和专科学校机械、冶金和材料等专业师生及相关人士的教学和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

特种合金及其锻造/中国锻压协会编著. — 北京:国防工业出版社,2009.10

(锻件生产技术丛书)

ISBN 978-7-118-06518-3

I. 特… II. 中… III. 合金-锻造 IV. TG316

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第145070号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26 字数 666 千字

2009年10月第1版第1次印刷 印数 1~4000册 定价 95.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

《锻件生产技术丛书》组织机构

策划与出版委员会

主 任 张 金
委 员 齐俊河 韩木林 纪 宏
秘 书 长 白玉冰

顾问委员会

名誉主任 何光远 李社钊
主 任 缪文民
副 主 任 蔡 墉 杜忠权
委 员 (以姓氏笔画为序)
王仲仁 王晓燕 阮雪榆 孙友松 杜豪年
李成功 李永堂 宋玉泉 周义刚 胡正寰
侯哲平 徐华东 聂绍珉 夏巨湛 夏汉关
栾新民 曹春晓 曾凡昌 谢 谈 潘祖武

编写委员会

主 任 王乐安
副 主 任 高 新 赵一平
委 员 (以姓氏笔画为序)
王乐安 白玉冰 周 杰 赵一平 胡亚民
高 新 章立预 蔡建明

《特种合金及其锻造》编委会

主 编 王乐安

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 昶 王乐安 伍太宾 张钰成 罗益民

周学玉 赵和安 胡亚民 赖周艺 蔡建明

主 审 杜忠权

总 序

锻压行业的同仁们,期盼已久的第一套《锻件生产技术丛书》终于出版了!这是中国锻压协会、中国锻压行业一项具有开创性的工作!

随着中国经济的发展,锻压概念无论是内涵还是外延都得到了巨大的发展。中国锻压协会涵盖的锻压不仅仅是锻造与冲压的总和,还包括了钣金、金属制作和其它塑性成形有关的工业领域。锻压是制造业的重要基础工艺,在国民经济和国防建设中具有重要作用与地位。

由于受“工艺性”行业观念的影响,锻压行业一直没有受到制造业界的足够重视,行业生产技术文献少的可怜,更没有一套系统地对行业技术进行总结、研究和展望的著作。基于这样的情况,中国锻压协会根据国内锻压行业发展的迫切需要,筹备出版系列锻压行业生产技术丛书。

经过多年的策划,2007年起邀请90余位专家、学者和工程技术人员历时两年多编撰了这部十册约700余万字的《锻件生产技术丛书》。在未来几年内,中国锻压协会还将组织编撰出版有关冲压、钣金与金属制作方面的生产技术丛书。

《锻件生产技术丛书》在继承前人的科研成果和生产经验基础上,以金属塑性变形理论为指导,借助数值和物理模拟技术,挖掘工艺、设备和相关边缘技术的潜力,为企业实现高效、精密和低成本地生产优质锻件、提升企业的市场竞争力和可持续发展服务。本丛书以其实用性、先进性和前瞻性对从事锻造技术科研、生产和教学的工作者有参考价值 and 引导作用,本丛书特别适于用作培养年轻锻造技术人员的教材。

在这套丛书出版之际,谨向所有参加编撰辛勤工作的专家、学者和工作人员,致以衷心地祝贺和感谢!



2009年8月于北京

序

在全球化的大潮中,恰逢改革开放 30 周年,业已成为世界制造业大国的我国,作为机械制造基础的锻造工业正面临着迈入“世界大国”行列的挑战和机遇。面对挑战并能抓住这个机遇的诸多关键因素之一应为是否拥有足够且胜任锻造技术的人员。

为了适应向社会主义市场经济转轨和发展的需要,我国的大学教育方针早已从 20 世纪 50 年代开始实行的专才教育变为通才教育,此种改变无疑为大学毕业生打下较为宽广的知识基础,并为其创造多种多样的就业机会;但也造成他们中间多数人在走上工作岗位时缺乏必要的较为深入的专业知识,从而需要进行短期培训以充实应对生产的迫切需要。

上述情况使我国锻造企业历来缺乏人才储备的状况而更加严重。中国锻压协会有鉴于此,决定聘请 90 余位既富基础理论、又富实践经验且长期工作在锻造科研、生产和教学第一线的专家们编撰这部《锻件生产技术丛书》,以纾企业燃眉之困。

本丛书立足于锻件生产实际,从锻件材料所固有的“锻造工艺性能”和反映设备动力学和结构特征的“设备使用特性”切入,按照“锻件(材料、参数)”、“工艺(参数)”和“设备(使用特性)”三者在锻件生产过程中相克相成的关系,介绍各种锻造设备和锻造工艺的特点、原理、应用范围及其发展前景,并列举众多典型实例以为佐证。

本丛书共分十册,包括《金属锻造原理》、《锻造工艺模拟》、《自由锻造》、《模锻工艺及其设备使用特性》、《冷锻与温锻》、《特种锻造》、《特种合金及其锻造》、《汽车典型锻件生产》、《锻造模具与润滑》和《锻造加热与热处理及节能环保》。

本丛书的主要特点有:

1. 强调优质、精密、高效和大型零件的锻造技术

本丛书重点介绍以汽车典型锻件为代表的模锻技术、以航空航天器关键零件为代表的特种合金锻造技术和以基础工业(例如能源机械)大型零件为代表的大锻件自由锻造技术。在强调质量、精度和效率的同时,突出实用性。

2. 推广工厂急需的先进技术

本丛书根据目前我国锻造企业提高质量、改进管理和降低成本的实际需要,有针对性地推荐国内外成熟的有关技术,包括原理、工艺、工模夹具设计和制造及其实例。它们分别是:“冷温锻件生产技术”、“模具堆焊制造和维修技术”、“机械压力机恒载荷精锻技术”、“少无污染的润滑技术和玻璃防护润滑技术”和“辊锻制坯技术”等。这些技术既可直接移植于生产实践,亦可借鉴,收“触类旁通”之效。

3. 重视尖端前沿技术

本丛书为开阅读者视线,跟踪了解世界锻造技术的发展趋势,介绍了目前尚处于研究发展阶段的国内外先进锻造技术。它们是:“粉末高温合金的超塑性锻造”、“等温锻造和热模锻造技术”、“难变形合金的喷射成形技术”、“半固态成形技术”和“锻件组织模拟技术”等。

4. 提倡“边缘科学技术”和传统锻造技术结合,以提升企业总体竞争力

随着计算机技术的迅猛发展、节能和环保意识在全世界范围内的觉醒,本丛书特别提倡将数值和物理模拟、模具和润滑等“边缘科学技术”应用于锻造工艺,将节能和环保措施贯穿于锻件生产的全部过程,并以其施行之程度视为衡量锻件生产水平高低的标准。实践证明这些“边缘科学技术”一旦和锻件生产相结合,将有助于优化锻造工艺、确保锻件质量、节约资源、提高生产效率和改善自然环境,从而获得降低成本和提升企业总体竞争力的效果。

由此可见,本丛书兼顾理论和实用、现状和发展;文字力求简洁;叙述力求通顺;实为初登锻造技术岗位的大学毕业生用以学习锻造基本知识和在职锻造技术人员提高解决实际生产问题能力的理想教材;亦为在校的机械、冶金和材料专业师生或在职的工程技术人员扩大知识面或了解锻造技术发展趋势的理想参考资料。

前 言

特种合金及其锻件除广泛应用于航空和航天工业以及其他国防工业外,随着科学技术的进步、国民经济的发展和人们生活质量的提升,特种合金及其锻件在民用工业和日常生活中的应用越来越多,其作用也越来越大。本书除对国防工业中特种合金及其锻件生产技术方案系统论述外,还对特种合金及其锻件在化学工业、动力工业、机械制造业和生物工程中的推广应用作了介绍。

本书共分七章。在第一章中,论述了常用特种合金及其锻件的应用概况、锻造特点、锻造工艺性能及其与特种合金锻件生产之间的密切关系;论述了热力学参数对特种合金锻件质量的影响;介绍了特种合金锻件结构要素设计特点和锻造工序特点及其操作要点;最后对特种合金锻造设备的选择提出了建议。

在随后的六章中,分别对高温合金、钛合金、不锈钢、铝合金、镁合金和铜合金及其锻件生产技术作了论述。

特种合金锻造技术与锻件材料特性密切相关,而大多数从事锻造的技术工作者对特种合金的特性了解较少,因此,本书对相关合金的合金化原理、特性、分类和发展作了简要论述,其深度以研究或制定锻造工艺的需要为准,而与相关材料学专著有所区别。

鉴于特种合金的锻造工艺性能对确定锻造工艺的热力学参数和锻造设备参数以及选择锻造工艺数值模拟和物理模拟的边界条件至关重要,而在一般锻造专业书中对特种合金的锻造工艺性能论述较少,因此,本书根据特种合金锻造的特殊需要,在各章中分别以一定篇幅介绍了相关合金的工艺塑性图、变形抗力和三向再结晶图实例;论述了相关合金的锻造工艺性能及其与选择锻造热力学参数和锻造设备的关系及其对锻件质量的影响;介绍了相应合金的锻件和模具设计特点以及锻件质量控制要点等;每章还分别介绍了军、民用典型锻件的锻造实例。

本书的主要读者为从事锻件生产的锻造技术工作者。通常,这一读者群体熟悉碳素钢和低合金钢及其锻造技术,况且,钢件锻造的基本理论、锻件、模具和锻造工艺设计原则及其流程和操作要点以及锻件质量控制等在许多模锻工艺学及手册中都能查到,本系列丛书中的《模锻工艺及其设备使用特性》一书也有论述;限于篇幅,本书仅就特种合金及其锻造技术特点以及各特种合金与钢锻造技术不同之点作扼要的对比和分析。

第一章由王乐安撰写,第二章由王乐安和周学玉撰写,第三章由蔡建明、王乐安和周学玉撰写,第四章由王乐安和赵和安撰写,第五章由罗益民和王乐安撰写,第六章由胡亚民、王昶、张钰成、赖周艺和王乐安撰写,第七章由罗益民、伍太宾和王乐安撰写;全书由王乐安统稿,杜忠权审定。

本书在撰写过程中参阅了中国锻压协会历次学术会议的报告和文集,书中没有一一列出,在此表示诚挚的感谢!

最后,非常感谢中国锻压协会白玉冰先生在本书撰写过程中所付出的心血和汗水!

目 录

第一章 概论	1
1.1 特种合金及其锻件应用概况	1
1.1.1 特种合金的涵义	1
1.1.2 基体金属的物理特性及其可锻性	1
1.1.3 特种合金及其锻件的应用概况	2
1.2 特种合金的锻造特点及其对策	4
1.2.1 特种合金的锻造特点	4
1.2.2 常用特种合金锻造特点比较	5
1.2.3 特种合金锻造的技术措施	7
1.3 锻造工艺性能及其用途	8
1.3.1 锻造工艺性能的涵义及用途	8
1.3.2 金属的工艺塑性	9
1.3.3 超塑性及其与特种合金锻件的关系	11
1.3.4 变形抗力	12
1.3.5 可锻性	13
1.3.6 金属的再结晶与再结晶图	14
1.4 热力学参数及其对特种合金锻件质量的影响	15
1.4.1 变形温度及其影响	15
1.4.2 应变速率及其影响	15
1.4.3 变形程度及其影响	16
1.4.4 应力-应变状态及其影响	17
1.5 特种工艺方法及其对锻件质量的影响	19
1.5.1 超塑性锻造	19
1.5.2 等温锻造	20
1.5.3 热模锻造	20
1.5.4 形变热处理工艺	21
1.5.5 β 锻造	21
1.6 特种合金锻件结构要素设计	21
1.6.1 材料对锻件结构要素的影响	21
1.6.2 特种合金锻件结构要素的设计特点	21
1.7 特种合金锻造工序的特点	23
1.7.1 概述	23

1.7.2	坯料准备	23
1.7.3	毛坯的润滑与防护	24
1.7.4	毛坯加热	25
1.7.5	模具预热	26
1.7.6	制坯与预锻	26
1.7.7	模锻	27
1.7.8	切边	27
1.7.9	冷却	27
1.7.10	校正	27
1.7.11	预制毛坯及锻件表面清理与检查	27
1.7.12	理化性能检验	28
1.8	特种合金锻造设备的选择	28
1.8.1	概述	28
1.8.2	常用锻造设备对特种合金锻造的适应性	28
1.8.3	特种合金锻造设备的选用原则	29
	参考文献	30
第二章	高温合金及其锻造技术	32
2.1	变形高温合金及其锻造特点和应用概况	32
2.1.1	高温合金的发展	32
2.1.2	高温合金的合金化	34
2.1.3	高温合金的分类	35
2.1.4	我国变形高温合金牌号表示方法及主要化学成分	39
2.1.5	变形高温合金的使用特性及锻造特点	41
2.1.6	变形高温合金的应用概况及国内外牌号对照	43
2.2	高温合金的锻造工艺性能	48
2.2.1	概述	48
2.2.2	第一组高温合金的锻造工艺性能	48
2.2.3	第二组高温合金的锻造工艺性能	52
2.2.4	第三组高温合金的锻造工艺性能	59
2.2.5	第四组高温合金的锻造工艺性能	63
2.2.6	高温合金的锻造工艺性能综合分析	67
2.3	锻造热力学参数对高温合金锻件质量的影响	71
2.3.1	变形温度的影响	71
2.3.2	应变速率的影响	72
2.3.3	变形程度的影响	72
2.3.4	锻后冷却的影响	73
2.4	高温合金锻件的特种锻造工艺方法	74
2.4.1	GH4169 合金的特种锻造工艺方法	74
2.4.2	先进的高温合金涡轮盘锻件的生产新工艺方法	75
2.5	高温合金锻造工艺及其特点	77

2.5.1	高温合金熔铸及其开坯工艺特点	77
2.5.2	高温合金模锻工艺及其特点	78
2.5.3	高温合金锻件与模具设计特点	78
2.5.4	高温合金的加热和锻造温度	79
2.6	高温合金锻件热处理工艺及其特点	81
2.6.1	高温合金热处理基础及其特点	81
2.6.2	常用高温合金热处理工艺参数	82
2.7	高温合金锻件缺陷及其质量控制	87
2.7.1	高温合金锻件常见缺陷	87
2.7.2	高温合金锻件质量控制的特点	92
2.7.3	高温合金锻件冶金质量检验及其特点	93
2.8	高温合金锻造技术典型实例	93
2.8.1	高温合金典型锻件及其特点	93
2.8.2	GH4169 合金涡轮盘的模锻工艺	96
2.8.3	ЭИ437БВ 合金涡轮盘的模锻工艺	100
2.8.4	GH4133B 合金涡轮盘的模锻工艺	102
2.8.5	GH4133B 合金承力环模锻工艺的数值模拟	104
2.8.6	GH4049 合金及其叶片模锻工艺	106
2.8.7	A286 合金连杆的模锻工艺及其经济分析	107
2.8.8	钴铬钼合金人工髋关节股骨头柄的精锻工艺	109
2.9	关于高温合金盘件模锻工艺方法的探讨	113
2.9.1	关于改进我国高温合金盘件模锻工艺方法的探讨	113
2.9.2	高温合金喷射沉积成形制坯及其模锻工艺	115
	参考文献	116
第三章	钛合金及其锻造技术	117
3.1	钛合金及其应用概况	117
3.1.1	概述	117
3.1.2	钛的物理特性与晶体结构	118
3.1.3	钛的合金化元素及其分类和其作用	119
3.1.4	β/α 相转变	120
3.1.5	钛合金的分类	121
3.1.6	中外变形钛合金对照及应用概况	122
3.1.7	变形钛合金的特性及其锻造特点	126
3.1.8	变形钛合金的组织及其对力学性能的影响	128
3.1.9	功能型钛合金简介	136
3.1.10	Ti—Al 系金属间化合物简介	136
3.1.11	颗粒和纤维增强钛基复合材料简介	137
3.2	常用钛合金的锻造工艺性能	138
3.2.1	概述	138
3.2.2	常用钛合金的锻造工艺性能	138

3.2.3	常用钛合金锻造工艺性能数据	149
3.2.4	钛合金锻造工艺性能综合分析	152
3.3	锻造热力学参数对钛合金锻件质量的影响	156
3.3.1	加热和变形温度的影响	156
3.3.2	应变速率的影响	160
3.3.3	变形程度的影响	161
3.3.4	模具温度的影响	161
3.3.5	锻后冷却的影响	162
3.4	锻造工艺方法对钛合金锻件质量的影响	162
3.4.1	锻造工艺方法对组织均匀性的影响	162
3.4.2	β 锻造对组织的影响	162
3.5	钛合金锻造工艺及其特点	164
3.5.1	概述	164
3.5.2	熔炼及开坯工艺	164
3.5.3	钛合金模锻工艺及其特点	165
3.6	钛合金锻件热处理工艺	170
3.6.1	钛合金热处理的特点	170
3.6.2	钛合金热处理的分类	171
3.6.3	钛合金锻件热处理工艺规范	174
3.7	钛合金锻件质量控制	175
3.7.1	钛合金常见冶金缺陷及其控制	175
3.7.2	钛合金锻造缺陷及其控制	178
3.8	钛合金锻造工艺典型实例	182
3.8.1	航空发动机钛合金叶片精锻工艺	182
3.8.2	汽轮机大型钛合金叶片模锻工艺	187
3.8.3	钛合金盘件等温锻造工艺	192
3.8.4	TC17 钛合金盘件的热模 β 锻工艺	196
3.8.5	TA15 钛合金框形梁模锻工艺	196
3.8.6	TC4 钛合金机匣的环轧工艺	198
3.8.7	钛合金人工髋关节股骨头精锻工艺	198
	参考文献	202
第四章	不锈钢及其锻造技术	203
4.1	不锈钢及其应用概况	203
4.1.1	不锈钢及其合金化原理	203
4.1.2	不锈钢的分类及其特性	205
4.1.3	不锈钢牌号表示法和主要化学成分	210
4.1.4	不锈钢的使用特性	210
4.1.5	不锈钢的应用概况及中外牌号对照	211
4.2	不锈钢的锻造工艺性能	216
4.2.1	概述	216

4.2.2	不锈钢的锻造工艺性能实例	216
4.2.3	不锈钢锻造工艺参数分析	220
4.3	锻造热力学参数对不锈钢锻件质量的影响	221
4.3.1	概述	221
4.3.2	变形温度的影响	221
4.3.3	变形程度的影响	222
4.3.4	锻后冷却的影响	222
4.3.5	加热气氛的影响	222
4.4	不锈钢锻造工艺及其特点	222
4.4.1	不锈钢的熔铸特点	222
4.4.2	不锈钢的锻造特点	223
4.4.3	不锈钢模锻工艺流程及其特点	226
4.4.4	不锈钢锻件与模具设计特点	227
4.4.5	不锈钢的加热和锻造温度	229
4.5	不锈钢锻件热处理工艺	232
4.5.1	奥氏体不锈钢锻件热处理	232
4.5.2	马氏体不锈钢锻件热处理	234
4.5.3	铁素体不锈钢锻件热处理	236
4.5.4	沉淀硬化不锈钢锻件热处理	237
4.6	不锈钢锻件常见缺陷及其控制	238
4.6.1	原材料带来的冶金缺陷	239
4.6.2	加热缺陷	242
4.6.3	锻造缺陷	243
4.6.4	锻件后处理缺陷	247
4.6.5	不锈钢锻件缺陷综合分析	248
4.7	不锈钢锻造技术典型实例	249
4.7.1	大型叶片模锻技术	249
4.7.2	小型叶片精锻技术	253
4.7.3	薄壁锥形环的锤上模锻技术	254
4.7.4	壳体锻件的机械压力机挤锻技术	254
4.7.5	盲孔锻件的反挤压技术	256

参考文献	257
------	-----

第五章 铝合金及其锻造技术	259
---------------	-----

5.1	变形铝合金及其应用概况	259
5.1.1	概述	259
5.1.2	变形铝合金的分类及牌号表示方法	259
5.1.3	我国变形铝合金的主要化学成分	261
5.1.4	变形铝合金的国内外牌号对照及应用概况	263
5.2	铝合金的锻造工艺性能及锻造特点	265
5.2.1	概述	265

5.2.2	铝铜系铝合金的锻造工艺性能	266
5.2.3	铝锰系铝合金的锻造工艺性能	268
5.2.4	铝镁系铝合金的锻造工艺性能	269
5.2.5	铝锌系铝合金的锻造工艺性能	271
5.2.6	几种铝合金可锻性的比较	272
5.2.7	铝合金锻造工艺参数及其分析	272
5.3	热力学参数对铝合金锻件质量的影响	275
5.3.1	变形温度的影响	275
5.3.2	变形程度的影响	275
5.3.3	应变速率的影响	276
5.4	铝合金锻造工艺特点	276
5.4.1	铝合金自由锻工艺特点	276
5.4.2	铝合金模锻工艺特点	276
5.4.3	铝合金模锻件与模具设计特点	280
5.5	铝合金锻件热处理	283
5.5.1	铝合金热处理分类	283
5.5.2	铝合金的状态	283
5.5.3	铝合金锻件的热处理特点	285
5.5.4	常用铝合金锻件的热处理规范	286
5.6	铝合金锻件缺陷及其控制	288
5.7	铝合金锻造技术典型实例	290
5.7.1	大型构件的液压机模锻技术	290
5.7.2	小型构件的机械压力机模锻技术	297
5.7.3	航空发动机叶片的模锻技术	298
5.7.4	小型构件的摩擦压力机模锻技术	298
5.8	铝合金锻造新工艺简介	300
5.8.1	铝合金的冷锻	300
5.8.2	铝合金半固态模锻	301
5.8.3	粉末铝合金挤压与等温锻技术	301
	参考文献	302
第六章	镁合金及其锻造技术	304
6.1	镁合金及其应用概况	304
6.1.1	镁及其合金的物理和化学特性	304
6.1.2	变形镁合金的分类及其合金化	304
6.1.3	我国变形镁合金牌号命名法及主要化学成分	305
6.1.4	国内外变形镁合金牌号对照及应用概况	307
6.2	镁合金成形特点及其对质量的影响	309
6.2.1	镁合金成形特点	309
6.2.2	成形工艺对镁合金锻件质量的影响	311
6.3	镁合金的成形工艺方法	313

6.3.1	镁合金锻造工艺	313
6.3.2	镁合金构件的挤压成形	319
6.3.3	镁合金的等温成形	320
6.3.4	镁合金的超塑性及其特点	322
6.4	镁合金锻件热处理工艺	325
6.4.1	镁合金热处理的特点	325
6.4.2	镁合金热处理状态	325
6.4.3	镁合金锻件热处理工艺	326
6.5	镁合金锻件常见缺陷及其控制	327
6.6	镁合金成形技术典型实例	329
6.6.1	AZ40M 镁合金半球体的锻造工艺	329
6.6.2	AZ31 镁合金散热器的等温精密成形工艺	332
6.6.3	ZK61M 镁合金上机匣的等温精密成形工艺	333
6.6.4	AZ31D 镁合金杯形件反挤压工艺	334
6.6.5	AZ61A 镁合金杯一杆件等温复合挤压工艺	339
6.6.6	AZ31D 镁合金电动螺丝刀刀把等温挤压工艺	340
6.6.7	AZ31D 镁合金射钉枪端盖等温挤压工艺	347
6.7	先进镁合金塑性成形技术简介	353
6.7.1	铸锻复合成形	353
6.7.2	液态模锻再锻造	353
6.7.3	喷射+轧制/锻造/挤压	354
6.7.4	快速凝固/粉末冶金	354
参考文献		355
第七章 铜合金及其锻造技术		357
7.1	铜合金及其应用概况	357
7.1.1	概述	357
7.1.2	铜及其合金的分类、牌号和状态表示法	358
7.1.3	黄铜	359
7.1.4	青铜	360
7.1.5	白铜	362
7.2	铜合金锻造工艺性能	363
7.2.1	铜合金锻造工艺性能的特点	363
7.2.2	铜合金的锻造温度	369
7.2.3	常用铜合金可锻性比较	372
7.3	铜合金自由锻工艺特点	372
7.4	铜合金模锻工艺特点	373
7.4.1	铜合金模锻工艺流程及其特点	373
7.4.2	铜合金锻件与模具设计特点	375
7.5	铜合金锻件热处理工艺	377
7.5.1	铜合金锻件热处理的特点	377

7.5.2 铜合金锻件热处理工艺	378
7.6 铜合金锻件缺陷及其控制	379
7.7 铜合金锻造工艺典型实例	380
7.7.1 HPb59-1 铜合金螺栓的挤压工艺	380
7.7.2 HPb59 黄铜底盘的复合挤压工艺	381
7.7.3 HPb59 黄铜分度盘模锻工艺	381
7.7.4 HPb59-1 黄铜法兰盘模锻工艺	382
7.7.5 黄铜气瓶阀阀体多向模锻工艺	382
参考文献	384
附录 1 加工铜及铜合金化学成分和半成品形状	385
附录 2 中外铜及其合金牌号对照	395