



锻件生产技术丛书

中国锻压协会 编著

模锻工艺及其 设备使用特性



YZLI 0890092104

在论述锻造设备使用特性及其与模锻工艺关系的基础上，全面论述了锻锤、机械压力机、螺旋压力机、平锻机和模锻液压机等常用设备的模锻工艺及其质量控制，并以此为纽带在设备使用者和制造者之间建立起牢固的联系。



国防工业出版社

National Defense Industry Press

锻件生产技术丛书

模锻工艺及其设备使用特性

中国锻压协会 编著



YZLI 0890092104

国防工业出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书根据锻造设备的使用特性论述了锻造设备与工艺的关系及其对锻件质量、生产率和应用范围的影响。分别论述了模锻锤和对击锤、机械压力机、螺旋压力机、平锻机和模锻液压机的工作原理和结构特点及其使用特性和应用范围,并介绍了相应设备的模锻工艺、模具设计特点、设备选择、模锻件生产线、典型工艺实例、新工艺方法、闭塞锻造工艺原理、特点和典型实例,以及锻件质量控制系统、锻件缺陷及其防止、检验内容和方法。

本书可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用书,也可作为高等和专科学校机械、冶金专业师生及相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模锻工艺及其设备使用特性/中国锻压协会编著. —北京:
国防工业出版社, 2011. 1
(锻件生产技术丛书)
ISBN 978-7-118-07206-8

I. ①模... II. ①中... III. ①模锻-基本知识
IV. ①TG316.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 006392 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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 33 字数 856 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 135.00 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 韩木林 齐俊河 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 塘 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 夏巨谌 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

《模锻工艺及其设备使用特性》编委会

主 编 王乐安

编 委 (以姓氏笔画为序)

王乐安 付传锋 成国发 杜忠权 李凤梅

陈金科 赵一平 赵全平 韩 良 谢 静

熊运森 颜 斌

主 审 薛治中 蔡建明

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、金属制作和其他与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得可怜,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和引导作用,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,致以衷心的祝贺和感谢!

中国锻压协会



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。

王乐安

2009年10月

前 言

本书以锻造设备的载荷—能量转化、速度、精度、刚度和抗偏载能力等与使用密切相关的特性为切入点论述常用锻造设备的特性与锻造工艺的关系及其对锻件质量、生产率和应用范围的影响,试图在锻造设备制造者和使用者之间建立起沟通的平台,促进锻造工艺和设备同步发展。

本书共分八章。在第一章中,论述了模锻件生产现状及其发展、模锻工艺特点及模锻件分类、锻件和锻造工艺与设备之间的关系、锻造设备的使用特性、常用模锻设备的选用原则,介绍了模锻件和模锻工艺的设计原则。

在随后的第二章至第六章中,分别论述了模锻锤和对击锤、机械压力机、螺旋压力机、平锻机和模锻液压机的工作原理和结构及其使用特性和应用范围,并介绍了相应设备的模锻工艺、模具设计特点、设备选择、模锻件生产线和典型工艺实例以及新工艺方法等。

在第七章中,论述了闭塞锻造工艺的工作原理及技术特点、发展概况及展望、模架和模具结构及闭塞锻造工艺典型实例和模拟分析。

第八章叙述了锻件质量控制系统、锻件的缺陷及其防止和治理措施以及锻件质量的检验内容和方法。

第一章由王乐安撰写;第二章由陈金科、赵全平、谢静、熊运森、李凤梅和王乐安撰写;第三章主要由赵一平和韩良撰写,其中 3.1 节和 3.2 节由王乐安和赵一平合写,3.7 节和 3.8 节由王乐安撰写;第四章主要由赵一平撰写,其中 4.1 节和 4.2 节由王乐安和赵一平合写;第五章由赵一平撰写,第六章由颜斌和王乐安撰写,第七章由付传锋和成国发撰写,第八章由杜忠权撰写。全书由王乐安统稿,薛治中和蔡建明审定。

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培训教材,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!

王乐安

2010 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 模锻件生产现状及其发展	1
1.1.1 模锻技术在机械制造业中的重要性	1
1.1.2 模锻件生产现状	1
1.1.3 模锻技术的发展趋势	2
1.2 模锻工艺特点及模锻件分类	3
1.2.1 模锻工艺特点	3
1.2.2 模锻件分类	4
1.2.3 开式模锻和闭式模锻的成形特点	6
1.2.4 典型模锻件及其工艺特点	6
1.3 锻件、工艺与设备	10
1.3.1 锻件、工艺与设备之间的关系	10
1.3.2 锻件、设备和工艺参数与锻造过程的关系	11
1.3.3 研究锻件、工艺和设备之间关系的必要性	14
1.3.4 锻造设备参数的分类	14
1.4 锻造设备的使用特性	15
1.4.1 常用锻造设备的工作原理及其分类	15
1.4.2 载荷—能量特性	15
1.4.3 速度—“时间”特性	20
1.4.4 精度特性	22
1.4.5 其他使用特性	22
1.5 常用模锻设备的选用	22
1.5.1 常用锻造设备使用特性比较	22
1.5.2 常用模锻设备的宜用性	23
1.5.3 常用模锻设备的适用范围	24
1.5.4 常用模锻设备模锻能力比较	26
1.5.5 常用模锻设备的选用原则	27
1.6 模锻工艺设计简述	29
1.7 模锻件结构要素及其设计原则	30
1.7.1 模锻件结构要素	30
1.7.2 锻件流线及其设计	30
1.7.3 分模和分模面(线)及其设计	32

1.7.4	模锻斜度及其设计	34
1.7.5	圆角及其设计	36
1.7.6	肋和凸台及其设计	38
1.7.7	腹板及其设计	39
1.7.8	凹腔、凹槽、孔和冲孔连皮及其设计	40
1.7.9	飞边和飞边槽及其设计	42
1.7.10	锻件基准、公差和余量及其设计	43
1.7.11	工艺余料及其设计	44
1.7.12	锻件标记和检验印章	44
1.7.13	设备类型与模锻件结构要素参数的关系	44
1.8	锻件缺陷及质量控制要点	45
1.8.1	锻件质量控制的目的	45
1.8.2	锻件质量控制的主要内容	45
1.8.3	锻件缺陷	45
	参考文献	51
第二章	模锻锤的使用特性及其模锻工艺	53
2.1	模锻锤及其应用范围	53
2.1.1	模锻锤及其发展	53
2.1.2	模锻锤的结构及工作原理	56
2.1.3	蒸汽—空气模锻锤的技术改造	63
2.1.4	模锻锤的应用范围	64
2.2	模锻锤的使用特性	65
2.2.1	模锻锤的动力学特性及其对使用特性的影响	65
2.2.2	模锻锤结构对使用特性的影响	68
2.2.3	模锻锤的变形工艺特点	68
2.3	模锻件图的设计	69
2.3.1	锻件图设计的依据及内容	69
2.3.2	锻件质量设计	69
2.3.3	模锻件结构要素设计	70
2.3.4	锻件余量和公差设计	75
2.3.5	技术条件的制定	84
2.4	锤上模锻工艺方案选择	84
2.4.1	锤上模锻件的分类	84
2.4.2	工艺方案的选择	85
2.4.3	毛坯的选择	89
2.5	模锻锤规格的确定	91
2.5.1	锻锤的规格	91
2.5.2	吨位计算	92
2.5.3	按照经验数据选择模锻锤吨位	94
2.5.4	全液压程控锤对力、能计算的要求	94

2.6	锤锻模具设计	94
2.6.1	热锻件图和终锻模膛设计要点	94
2.6.2	预锻模膛及其设计要点	97
2.6.3	制坯模膛及其设计要点	100
2.6.4	切断模膛	107
2.6.5	模膛布排	108
2.6.6	模具结构总体设计	112
2.6.7	镶块模具及其设计要点	120
2.6.8	切边模具及其设计要点	120
2.6.9	锤锻模具材料和制造技术选用原则	128
2.6.10	锤锻模具设计实例	131
2.7	锻锤模锻工艺	133
2.7.1	锻锤模锻典型工艺流程	133
2.7.2	锻锤模锻主要工序及其操作要点	134
2.8	锻锤模锻工艺实例	142
2.8.1	砧座锤模锻工艺实例	142
2.8.2	对击锤模锻工艺实例	145
	参考文献	147
第三章	机械(热模锻)压力机模锻工艺及其使用特性	148
3.1	机械压力机及其应用范围	148
3.1.1	关于机械压力机的名称	148
3.1.2	机械压力机的结构	148
3.1.3	机械压力机的主要技术参数	149
3.1.4	锻造用机械压力机的应用范围	150
3.2	机械压力机的使用特性	150
3.2.1	机械压力机结构对使用特性的影响	150
3.2.2	机械压力机的动力学特性及其对使用特性的影响	152
3.2.3	机械压力机的变形工艺特点	154
3.2.4	机械压力机使用特性评估	156
3.3	机械压力机模锻工艺	157
3.3.1	锻件分类及其工艺特点	157
3.3.2	锻件图设计	159
3.3.3	坯料选择	162
3.3.4	设备选择	163
3.3.5	模锻工步设计	165
3.3.6	机械压力机闭式模锻及其特点	170
3.3.7	机械压力机热挤压和温挤压	174
3.4	机械压力机模架与模具设计	174
3.4.1	模架设计	174
3.4.2	模膛设计	183

3.4.3	模具结构设计	190
3.5	机械压力机模锻生产线	193
3.5.1	模锻生产线的组成	193
3.5.2	实现自动生产线的条件	194
3.5.3	机械压力机锻造生产线简介	194
3.6	模锻工艺和模具设计实例	195
3.6.1	轿车转向节模锻工艺及模具设计	195
3.6.2	控制臂模锻工艺及模具设计	200
3.6.3	推杆侧环模锻工艺及模具设计	206
3.6.4	凸缘闭式模锻工艺及模具设计	210
3.6.5	连接杆模锻工艺及模具设计	212
3.6.6	轮毂轴热挤压工艺及模具设计	219
3.7	机械压力机使用潜力的开发和应用	225
3.7.1	问题的提出	226
3.7.2	对机械压力机传动原理的再认识	226
3.7.3	机械压力机动态刚度及其测量	226
3.7.4	机械压力机恒载荷精锻原理	227
3.7.5	机械压力机恒载荷精锻模座及其调节方法	228
3.7.6	机械压力机恒载荷精锻技术的验证试验	229
3.7.7	机械压力机恒载荷精锻钛合金叶片实例	232
3.7.8	对机械压力机恒载荷精锻技术的评估	240
3.7.9	恒载荷精锻工艺方法的推广前景	244
3.8	机械压力机的闷车及其排除	245
3.8.1	机械压力机的闷车	245
3.8.2	机械压力机闷车的机理及其排除方法	245
	参考文献	248
第四章	螺旋压力机模锻工艺及其使用特性	249
4.1	螺旋压力机及其应用范围	249
4.1.1	概述	249
4.1.2	螺旋压力机的主要结构	250
4.1.3	螺旋压力机的工作原理	251
4.1.4	螺旋压力机的传动系统及其特点	253
4.1.5	螺旋压力机的主要技术参数	255
4.1.6	螺旋压力机的应用范围	260
4.2	螺旋压力机的使用特性	262
4.2.1	螺旋压力机结构对使用特性的影响	262
4.2.2	惯性螺旋压力机动力学对使用特性的影响	263
4.2.3	离合器式螺旋压力机动力学对使用特性的影响	271
4.2.4	螺旋压力机的变形工艺特点	272
4.3	螺旋压力机模锻工艺	273

4.3.1	锻件分类及其工艺特点	273
4.3.2	设备规格选择	276
4.4	模具设计	277
4.4.1	开式模锻模具设计	277
4.4.2	闭式模锻模具设计	282
4.4.3	精锻模设计	283
4.4.4	模具结构形式	288
4.5	螺旋压力机锻造生产线	291
4.5.1	连杆锻造生产线	291
4.5.2	直齿圆锥齿轮精密锻造生产线	291
4.5.3	转向节锻造生产线	292
4.5.4	轻型曲轴锻造自动生产线	292
4.5.5	推力杆头锻造生产线	292
4.5.6	重型曲轴锻造自动生产线	292
4.6	模锻工艺和模具设计实例	293
4.6.1	BP 连杆锻造工艺和模具设计	293
4.6.2	卡车转向节锻造工艺和模具设计	298
4.6.3	五、六挡变速叉锻造工艺和模具设计	301
4.6.4	刹车盘锻造工艺和模具设计	305
4.6.5	卡车凸缘闭式模锻工艺和模具设计	307
4.6.6	PE 半轴齿轮精锻工艺和模具设计	309
参考文献		316
第五章 平锻机的使用特性及其模锻工艺		317
5.1	平锻机及其应用范围	317
5.1.1	平锻机的结构特点	317
5.1.2	平锻机的工作原理	317
5.1.3	平锻机主要技术参数	319
5.1.4	平锻机的应用范围	320
5.2	平锻机的使用特性	321
5.2.1	结构对使用特性的影响	321
5.2.2	平锻机的动力学特性及其影响	322
5.2.3	平锻机模锻工艺特点	324
5.2.4	圆棒料顶镦(聚集)规则	324
5.2.5	管料顶镦(聚集)规则	329
5.3	平锻工艺	333
5.3.1	锻件分类及其工艺特点	333
5.3.2	锻件图制定	334
5.3.3	设备规格选择	335
5.3.4	平锻件工步设计	336
5.3.5	水平分模平锻机夹紧滑块成形和热挤压	344

5.4	平锻模膛和模具结构设计	347
5.4.1	终锻和预锻模膛及其模具结构设计	347
5.4.2	凸模锥形顶锻模膛和模具结构设计	349
5.4.3	管料顶锻模膛和模具结构设计	351
5.4.4	切边模膛及模具结构设计	351
5.4.5	穿孔模膛及模具结构设计	354
5.4.6	切断模膛及模具结构设计	355
5.4.7	平锻模具总体结构设计	355
5.4.8	热挤压模具结构设计	359
5.5	平锻生产线和自动生产线	363
5.5.1	抽油杆平锻生产线	363
5.5.2	前桥半轴套管平锻生产线	364
5.5.3	半轴平锻自动生产线	364
5.6	平锻机锻实例	365
5.6.1	抽油杆平锻工艺和模具设计	365
5.6.2	贯通轴平锻工艺和模具设计	369
5.6.3	转向摇臂轴平锻工艺和模具设计	374
5.6.4	轴套管平锻工艺和模具设计	380
5.6.5	倒车齿轮平锻工艺和模具设计	384
	参考文献	391
第六章	液压机的使用特性及其模锻工艺	392
6.1	液压机及其应用范围	392
6.1.1	关于液压机的名称	392
6.1.2	液压机的工作原理与结构	392
6.1.3	模锻液压机及大型模锻件的发展	393
6.1.4	大型模锻液压机的主要技术参数	399
6.1.5	模锻液压机的特点和应用范围	401
6.2	液压机的使用特性	403
6.2.1	液压机结构对使用特性的影响	403
6.2.2	液压机的动力学特性及其使用特性影响	404
6.2.3	液压机的变形工艺特点	405
6.2.4	液压机使用特性评估	405
6.3	液压机模具设计特点	406
6.3.1	液压机模锻件的结构要素设计	406
6.3.2	液压机模具结构设计	411
6.4	模锻液压机的选用原则	414
6.4.1	模锻液压机类型的选择	414
6.4.2	模锻液压机规格的确定	415
6.5	液压机模锻工艺及其特点	418
6.5.1	毛坯尺寸选择及下料	418

6.5.2	加热	418
6.5.3	模具预热与润滑	419
6.5.4	制坯	420
6.5.5	模锻	420
6.5.6	切边	421
6.5.7	校正	421
6.5.8	模锻件热处理	421
6.5.9	模锻件表面清理	421
6.5.10	检验	422
6.6	液压机模锻工艺实例	422
6.6.1	中小型构件模锻工艺实例	422
6.6.2	大型整体结构件模锻工艺实例	425
6.6.3	多向模锻工艺实例	427
6.6.4	超大型整体结构件模锻工艺及其技术经济分析实例	429
	参考文献	437
第七章	闭塞锻造工艺及其装置	439
7.1	概述	439
7.1.1	闭塞锻造及其成形过程	439
7.1.2	多向模锻	440
7.1.3	闭塞挤压	440
7.1.4	关于“闭塞锻造”的名称问题	441
7.2	闭塞锻造的特点及发展概况	441
7.2.1	闭塞锻造的特点	441
7.2.2	闭塞锻造的发展概况	442
7.3	闭塞锻造设备简介	443
7.4	闭塞锻造模架	446
7.4.1	液压传动式和氮气弹簧式模架	446
7.4.2	气动模架	447
7.4.3	闭塞锻造模架的可分凹模同步机构	448
7.4.4	闭塞锻造专用液压模架	449
7.4.5	三轴双向闭塞锻造模架	450
7.4.6	行星锥齿轮闭塞锻造用模架	451
7.4.7	液压—机械混合式模架	452
7.4.8	国外闭塞锻造装置	452
7.5	闭塞锻造模具	454
7.5.1	空心锻件的闭塞锻造模具	454
7.5.2	十字轴闭塞锻造模具	454
7.5.3	其他闭塞锻造模具	457
7.6	闭塞锻造工艺实例	460
7.6.1	行星锥齿轮闭塞锻造工艺	460

7.6.2 粉末材料锥齿轮的摆辗闭塞锻造工艺	462
7.6.3 星形套闭塞锻造工艺	464
7.6.4 十字轴闭塞锻造工艺	467
7.6.5 爪板闭塞锻造工艺	469
7.7 复杂结构件闭塞锻造工艺模拟分析	471
7.7.1 主动螺旋锥齿轮闭塞锻造工艺模拟分析	471
7.7.2 汽车转向节闭塞锻造工艺模拟分析	473
参考文献	475
第八章 锻件缺陷和质量控制	477
8.1 锻件质量控制系统	477
8.2 锻件缺陷及其防治措施	478
8.2.1 造成锻件缺陷的原材料缺陷	478
8.2.2 造成锻件缺陷的下料缺陷	482
8.2.3 造成锻件缺陷的加热缺陷	482
8.2.4 锻造造成的缺陷	486
8.2.5 切边造成的缺陷	492
8.2.6 热处理造成的缺陷	493
8.2.7 清理造成的缺陷	493
8.3 锻件按功能分类及质量检验内容	493
8.3.1 锻件按功能分类	493
8.3.2 不同材质锻件的质量检验内容	494
8.4 锻件质量的检验方法	495
8.4.1 锻件尺寸和几何形状的检查方法	496
8.4.2 锻件表面质量的无损检测方法	497
8.4.3 锻件内部质量的无损检测方法	500
8.4.4 锻件质量的破坏性检查方法	504
参考文献	508