



21世纪全国应用型本科

普通高等教育

大机械系列 实用规划教材

“十一·五” 国家级规划教材

锻造工艺

过程及模具设计



主 编 胡亚民 华 林
副主编 许树勤 王雷刚 张 驰 周天瑞
主 审 胡正寰

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

锻造工艺过程及模具设计

主 编	胡亚民	华 林	
副主编	许树勤	王雷刚	
	张 驰	周天瑞	
参 编	鲁素玲	刘玉忠	李旭斌
	李国俊	张海筹	伍太宾
	谢 谈	夏汉关	肖作义
	申荣华	王 昶	李春天
主 审	胡正寰		

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书对锻造技术作了全面、系统的介绍,共分 10 章,主要内容包括自由锻、模锻技术的基本原理和设备、锻模设计原则和方法、锻造加热规范、精密模锻、挤压、坯料制备和废次品分析以及模锻的后续工序等,尽量采用诸如“锻造过程”、“净形加工”和“模拟技术”等新名词、新概念,做到与国际接轨。

本书理论联系实际,尽量引用国内外有关单位的第一手材料,有较强的实用性。书中的实例都是国内外锻压界同仁的亲身实践总结。

本书可作为高等院校机械类专业的教材,也可作为从事锻件,特别是精锻件产品研究和开发的科研院所研究人员和企业科技人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

锻造工艺过程及模具设计/胡亚民,华林主编.—北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8
(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)
ISBN 7-5038-4453-1

I. 锻… II. ①胡… ②华… III. ①锻造—工艺学—高等学校—教材 ②锻模—设计—高等学校—教材 IV. ①TG316 ②TG315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091138 号

书 名: 锻造工艺过程及模具设计

著作责任者: 胡亚民 华 林 主编

策划编辑: 李昱涛 吴 迪

责任编辑: 郭穗娟 郑铁志

标准书号: ISBN 7-5038-4453-1

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区刘海胡同 7 号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京汇林印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 414 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

《21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名誉主任 胡正寰*

主任委员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

*胡正寰: 北京科技大学教授, 中国工程院机械与运载工程学部院士

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一，是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门，包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务，在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20世纪80年代以来，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度，改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式，产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面：

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用，使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品，其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动，而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化，CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用，促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术，并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化，制造过程的网络化、全球化得到很大的发展，涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式，制造装备和制造系统的柔性可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程特征和发展趋势表明，现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此，加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育，培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才，不断推动我国机械科学与工程技术的进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授：现为教育部机械学科教学指导委员会委员，现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998年对本科专业目录进行了第3次大的修订。调整后的机械大类专业变成4类8个专业,它们是:机械类4个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类1个专业(测控技术与仪器);能源动力类2个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类1个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于21世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006年1月

序 一

已经有相当长的时间，人们在新华书店里可以买到自己所喜欢的冲压书籍，但是要想买关于锻造的书却非常困难。北京大学出版社做了一件好事，他们出版了这本《锻造工艺过程及模具设计》教材。这是继西北工业大学张志文教授、哈尔滨工业大学吕炎教授主编《锻造工艺学》教材之后 10 多年乃至 20 多年方出现的一本关于锻压方面的新教材。

这本教材的编者队伍中许多是新人。胡亚民同志年纪稍大一点，华林和其他同志基本上都是 40 岁左右。他们多年来从事有关锻造的教学和科研工作，年富力强，精力充沛，具有新思维，新思想。他们完善和推广了“工艺”内涵，采用了“过程”的概念，符合新时期机械制造业的发展的规律。教材的名称是《锻造工艺过程及模具设计》，强调了在锻造过程中模具设计的重要性。书中以较少篇幅浓缩了有关自由锻的内容，做到了少而精，又以较多篇幅介绍了净形和近似净形加工（Near Net Shape Technique and/or Net Shape Technique）产品的开发和废次品的分析与防治措施等。

“净形和近似净形加工”与 20 世纪 70 年代所推广的少无切削加工异曲同工，但这本教材所讲述的内容更具有时代气息。例如书中介绍了精密模锻工艺过程设计，特别提到分流减压、预流补偿空间等减少精密模锻负载、提高模具寿命的具体技术措施。书中还介绍了模具型腔的挤压成形、氮气弹簧在新型精密模锻模具上的应用和镁合金的等温锻造。

书中还介绍了一种新型的能代替电火花加工高硬度模具型腔的高速切削加工，并指出其是“加快精密模锻模具开发速度、提高模具制造品质的必然趋势”，书中所叙述的锻模的焊接修补技术更是节材节能，复合环保要求。

当前教育战线对“材料成形与控制工程”专业大学生的培养模式和所使用的教材提出了更多更新的要求，希望这本教材在“十一五规划”中，在 21 世纪全国应用型本科机械系列的教学实践中发挥更大的作用。

胡正寰

2006 年 7 月 12 日

序 二

目前,国内外正在飞速发展的净形或近似净形(Net Shape or Near Net Shape),即 20 世纪 70 年代所谓的“少无切削”加工技术在机械制造业具有非常广泛的应用前景。这一情况对材料成形与控制工程专业的大学生的培养模式和教材的使用等方面提出了更新更高的要求。因此,作为 21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材之一的《锻造工艺过程及模具设计》应运而生。

这本教材对锻造技术作了全面、系统的介绍,内容涉及原理、工艺、设备、模具、测试和废次品分析等,翔实可靠地介绍了有关国内外锻造技术现状,内容新颖、丰富。教材采用了诸如“锻造过程”这样的新名词、新概念,做到了与国际接轨,将“过程技术”的概念完善并推广了“工艺”的内涵,符合机械制造业在新时期竞争要素发展的规律,有利于指导企业适应市场经济的主体行为。国家机械工业局在 20 世纪 90 年代就极力主张大力推动“过程技术”概念的应用。

“锻造工艺”是“锻造过程”技术的核心部分,“过程技术”不仅仅是制造工艺,还包括制造过程中所用的装备、工具、仪表和组织管理技术以及整个生产过程的构思、变化和 design。

这本教材名为《锻造工艺过程及模具设计》,强调了当前工业发展中模具设计对锻造过程的作用。教材的名称不叫《锻造过程和模具设计》,是因为在传统习惯上国内锻压界对“工艺”仍然比较熟悉,一下子改为“过程”还不大习惯。

编者在撰写过程中重视推陈出新,对传统的经典内容加以精选,强调少而精,也反映了当代锻造技术方面的最新成就。教材除广泛吸收中外专家的理论论述以外,还介绍了净形和近似净形加工方面富于创造性的研究成果,例如等温成形、复动成形、模具型腔的高速切削加工、模具的补焊等。

本教材强化锻造工艺过程及模具设计,对其他成形工艺过程也作了简要介绍,为学生打下金属塑性成形工艺的扎实基础创造条件,便于进一步提高教学质量,使学生学习后能对具体产品锻造方法的选择迅速做出可行性和局限性的评价,为锻造工艺参数的典型化、系统化打下基础,也为现代信息技术在锻件设计和制造中的应用开辟新的道路。

本教材不满足于从实际生产中发现问题和解决问题,而是更积极、更主动的引导学生从理论的高度考察和分析问题。本教材的特色还表现在尽量引用国内外有关生产、开发和研究单位的第一手材料,理论联系实际,实例都是国内外锻压界同仁长期在生产第一线的实践经验总结,容易激发学生的学习兴趣,对学生掌握锻造工艺和模具设计有直接的指导意义和重要的参考价值。

本教材具有较强的实用性,对从事锻造科研和产品开发工作的科研院所的科技人员和工厂企业的技术人员也有较高的参考价值,有利于促进我国锻造技术人员拓宽视野,开阔思路。

张 金

2006 年 5 月 23 日

前 言

本书是根据教育部下达的普通高等教育“十一五”国家级规划教材选题，经主编申报、出版社审核、教育部组织专家评审并批准编写的。

从 20 世纪 90 年代中叶至今，国内外很少出现有较好的关于锻造过程的教材，已有教材也都是差不多的模式，大同小异，对于当代精密锻造技术的发展反映得不够，甚至不同程度地存在着一些缺陷和小的失误。所以，无论是从高等院校的教学角度科研院所的科研和产品开发角度，还是从工厂车间第一线的生产角度，都需要有一本新的、与时俱进的关于锻造教材问世。为此，北京、河北、山东、山西、江苏、湖北、湖南、江西、贵州和重庆等地的 10 多所高等院校和科研院所(包括个别工厂、企业)锻压界的同仁、专家学者联合编著了这本《锻造工艺过程与模具设计》教材。“过程”的意思就是“Process”，之所以为传统的“锻造工艺”改为“锻造工艺过程”，是为了与国际接轨。本教材的名称最好为《锻造过程与模具设计》，因为“过程”的概念完善并推广了“工艺”的内涵，符合机械制造业在新时期竞争要素发展的规律，有利于指导企业适应市场经济的主体行为。国家机械工业局在 20 世纪 90 年代就极力主张和大力推动“过程”概念的应用，“工艺”一词已成旧说。

本书主编为胡亚民、华林，副主编为许树勤、王雷刚、张驰、周天瑞。胡亚民、谢谈和夏汉关共同编写第 1 章，华林、肖作义、张海筹共同编写第 2 章，鲁素玲、刘玉忠共同编写第 3 章、第 8 章，王雷刚编写第 4 章、第 5 章，许树勤编写第 6 章、第 7 章，周天瑞编写第 9 章，张驰、李旭斌、李国俊共同编写第 10 章、申荣华编写主要锻造专业词汇英中对照表，参编者还有伍太宾、王昶和李春天。对本书有贡献的还有赖周艺、赵军华和刘艳雄等人。感谢北京科技大学胡正寰院士为本书主审并作序，也感谢中国锻压协会张金秘书长为本书作序。

由于编者水平、时间有限，书中难免存在错误与不当之处，恳请各位读者和同仁批评指正。

编者

2006 年 4 月 25 日

《21世纪全国应用型本科犬机械系列实用规划教材》

参编学校名单 (按拼音排序)

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 安徽建筑工业学院 | 30 吉林工程技术师范学院 |
| 2 安徽科技学院 | 31 江苏大学 |
| 3 安徽农业大学 | 32 江西理工大学 |
| 4 北华大学 | 33 九江学院 |
| 5 北京建筑工程学院 | 34 军事交通学院 |
| 6 北京联合大学 | 35 兰州理工大学 |
| 7 长春大学 | 36 辽宁工程技术大学 |
| 8 长沙理工大学 | 37 鲁东大学 |
| 9 重庆工学院 | 38 南昌航空工业学院 |
| 10 重庆交通学院 | 39 南华大学 |
| 11 德州学院 | 40 内蒙古工业大学 |
| 12 东北林业大学 | 41 青岛科技大学 |
| 13 东华理工学院 | 42 山东理工大学 |
| 14 福建工程学院 | 43 上海工程技术大学 |
| 15 甘肃农业大学 | 44 上海理工大学 |
| 16 桂林工学院 | 45 上海水产大学 |
| 17 河北大学 | 46 沈阳大学 |
| 18 河北建筑工程学院 | 47 四川农业大学 |
| 19 河北农业大学 | 48 潍坊学院 |
| 20 河南工业大学 | 49 武汉工业学院 |
| 21 河南科技学院 | 50 武汉科技大学 |
| 22 湖北汽车工业学院 | 51 武汉理工大学 |
| 23 湖南工程学院 | 52 湘潭大学 |
| 24 湖南工学院 | 53 徐州师范大学 |
| 25 湖南工业大学 | 54 郑州航空工业管理学院 |
| 26 湖南理工学院 | 55 中北大学 |
| 27 华北水利水电学院 | 56 中国农业大学 |
| 28 华东交通大学 | 57 中南林业科技大学 |
| 29 黄石理工学院 | |

目 录

第 1 章 概述 1	
1.1 锻造生产 1	
1.2 锻造生产的发展过程 3	
1.3 锻造技术发展的未来 9	
1.3.1 数字化塑性成形技术..... 9	
1.3.2 锻压设备与锻压工艺技术 的未来发展趋势 ^[74] 12	
1.4 学习本课程的目的和任务 16	
第 2 章 锻造用原材料及坯料准备 17	
2.1 锻造用原材料 17	
2.1.1 黑色金属..... 17	
2.1.2 有色金属和贵金属..... 24	
2.2 下料和下料方法 24	
2.2.1 剪切法..... 26	
2.2.2 锯切法..... 30	
2.3 模锻时的润滑 36	
2.3.1 传统用钢热模锻润滑剂 和温锻润滑剂..... 36	
2.3.2 新型绿色钢热模锻润滑剂..... 37	
2.4 钢的软化退火 38	
2.5 钢的磷化处理 40	
2.5.1 钢质坯料的一般磷化 处理工艺..... 40	
2.5.2 钢质坯料的快速磷化 处理工艺..... 42	
2.5.3 磷化处理操作过程要点..... 42	
2.5.4 磷化膜品质不良的形式 及防治措施..... 43	
第 3 章 锻造的加热规范 45	
3.1 一般加热方法 45	
3.2 少、无氧化火焰加热 48	
3.3 钢加热时的缺陷及防止措施 50	
3.3.1 氧化、脱碳、增碳 50	
3.3.2 过热和过烧 52	
3.3.3 裂纹 53	
3.4 锻造温度范围的确定 54	
3.5 钢的加热规范 57	
3.5.1 金属加热规范制定的原则 和方法 57	
3.5.2 钢锭、钢材与中小钢坯 的加热规范 61	
3.6 钢锻后的冷却 62	
3.6.1 锻件冷却时常见缺陷 62	
3.6.2 锻件的冷却规范 64	
3.7 中小钢锻件的热处理 65	
3.7.1 退火 65	
3.7.2 正火 66	
3.7.3 淬火、回火 66	
3.7.4 锻件余热热处理 67	
3.8 铝合金和铜合金的加热规范 68	
3.8.1 铝合金的加热规范 68	
3.8.2 铜合金的加热规范 69	
第 4 章 自由锻主要工序分析 71	
4.1 自由锻工艺过程特征和工序分类 71	
4.1.1 自由锻工艺过程特征 71	
4.1.2 自由锻工序分类 71	
4.2 镦粗 72	
4.2.1 平砧镦粗 72	
4.2.2 垫环镦粗 76	
4.2.3 局部镦粗 76	
4.3 拔长 77	
4.3.1 矩形截面坯料和圆截面 坯料拔长 77	
4.3.2 空心件拔长 80	
4.4 自由锻其他主要工序 81	

4.4.1 冲孔.....	81	7.1.3 螺旋压力机及其工艺 过程特征	121
4.4.2 扩孔.....	82	7.1.4 平锻机及其工艺过程特征	123
4.4.3 弯曲.....	83	7.2 模锻工艺过程及模锻件分类	124
4.4.4 错移.....	84	7.2.1 圆饼类锻件	125
第 5 章 自由锻工艺过程.....	85	7.2.2 长轴类锻件	125
5.1 自由锻件的分类	85	7.2.3 顶镦类锻件	126
5.2 自由锻件变形工艺过程的确定	88	7.3 模锻件图设计	127
5.3 自由锻工艺过程规程的制定	90	7.3.1 锤上模锻件图设计	128
5.3.1 自由锻件图的制定与绘制.....	90	7.3.2 热模锻压力机上模锻件图 设计特征	134
5.3.2 坯料质量和尺寸的确定.....	91	7.3.3 摩擦压力机上模锻件图 设计特征	135
5.3.3 锻造比的确定.....	93	7.3.4 平锻机上模锻件图 设计特征	136
5.3.4 自由锻造设备吨位计算 与选择.....	94	7.4 模锻工艺过程的设计和模锻 工艺过程方案选择.....	137
5.4 制定自由锻工艺过程规程举例	94	7.4.1 模锻工艺过程设计依据	137
第 6 章 模锻成形工步分析.....	97	7.4.2 模锻工艺过程设计的步骤	138
6.1 模具对金属变形的影响	97	7.4.3 模锻工艺过程总体 设计要点	139
6.2 开式模锻	98	7.4.4 模锻工艺过程方案选择	141
6.2.1 开式模锻成形过程的分析.....	99	7.5 模锻变形工步的选择	142
6.2.2 开式模锻时影响金属成形 的主要因素.....	102	7.5.1 圆饼类模锻件制坯 工步选择	142
6.3 闭式模锻	105	7.5.2 长轴类模锻坯工步选择	144
6.3.1 闭式模锻的变形过程分析.....	106	7.5.3 顶镦类模锻件变形 工步确定	147
6.3.2 闭式模锻时影响金属成形 的主要因素.....	107	7.6 坯料尺寸的确定	150
6.4 挤压	109	7.6.1 圆饼类模锻件	150
6.4.1 挤压的应力应变分析.....	109	7.6.2 长轴类模锻件	151
6.4.2 挤压时凹模膛内金属 的变形.....	110	7.6.3 顶镦类模锻件	152
6.4.3 挤压时常见缺陷分析.....	112	7.7 模锻设备的选择和模锻力的计算	153
6.5 顶镦	114	7.7.1 锻锤	153
6.5.1 顶镦.....	115	7.7.2 热模锻压力机	153
6.5.2 电热镦粗.....	117	7.7.3 摩擦压力机	154
6.5.3 在带有导向的模具中镦粗.....	117	7.7.4 平锻机	155
第 7 章 模锻工艺过程.....	119	第 8 章 锻模设计.....	157
7.1 常用模锻设备及其工艺过程特征	119	8.1 锤用锻模	157
7.1.1 模锻锤及其工艺过程特征.....	119		
7.1.2 热模锻压力机及其工艺 过程特征.....	120		

8.1.1 模锻模膛设计.....	157	及模具类型.....	211
8.1.2 制坯模膛设计.....	165	9.1.2 切边模.....	212
8.1.3 锻模结构设计.....	173	9.1.3 冲孔模和切边冲孔复合模.....	216
8.2 热模锻压力机用锻模.....	183	9.1.4 切边或冲孔力的计算.....	217
8.2.1 模膛设计特点.....	183	9.2 校正和精压.....	218
8.2.2 锻模结构特点.....	186	9.2.1 校正.....	218
8.3 螺旋压力机用锻模.....	189	9.2.2 精压.....	220
8.3.1 模膛设计特点.....	190	9.3 表面清理.....	222
8.3.2 锻模结构特点.....	191	9.4 锻件品质检验.....	225
8.4 平锻机用锻模.....	193	9.4.1 锻件品质检验的内容.....	225
8.4.1 平锻模结构设计特点.....	193	9.4.2 锻件的主要缺陷.....	228
8.4.2 模膛设计.....	195	第 10 章 精密模锻.....	231
8.4.3 平锻模的结构与调整.....	199	10.1 精密模锻工艺过程设计.....	231
8.5 自由锻锤上模锻与胎模锻锻模.....	200	10.1.1 精密模锻件的可成形性 分析.....	231
8.5.1 胎模锻锻模.....	200	10.1.2 精密模锻工艺过程设计.....	232
8.5.2 固定模模锻锻模.....	201	10.2 精密模锻模具设计.....	233
8.6 锻模设计实例.....	202	10.2.1 精密模锻模具的结构.....	233
8.6.1 锻件图设计.....	202	10.2.2 精密模锻模具的模膛设计.....	240
8.6.2 计算锻件的主要参数.....	204	10.2.3 精密模锻模具模膛 的加工制造.....	244
8.6.3 锻锤吨位的确定.....	204	10.2.4 组合凹模尺寸.....	245
8.6.4 确定飞边槽的型式和尺寸.....	204	10.2.5 模具材料.....	246
8.6.5 终锻模膛设计.....	205	10.3 精密模锻实例.....	248
8.6.6 预锻模膛设计.....	205	10.3.1 直齿圆锥齿轮的精密模锻.....	248
8.6.7 绘制计算毛坯图.....	206	10.3.2 万向节十字轴精密模锻.....	255
8.6.8 制坯工步选择.....	207	10.3.3 镁合金的等温精密成形.....	261
8.6.9 确定坯料尺寸.....	208	附录 主要锻造专业词汇英、中文 对照表.....	266
8.6.10 其他模膛设计.....	208	参考文献.....	274
8.6.11 锻模结构设计.....	208		
8.6.12 模锻工艺流程.....	210		
第 9 章 模锻的后续工序.....	211		
9.1 切边与冲孔.....	211		
9.1.1 切边和冲孔的方式			

第 1 章 概 述

1.1 锻 造 生 产

锻造的目的是使坯料成形及控制其内部组织性能达到所需几何形状、尺寸以及品质的锻件。

20 世纪 80 年代,我国钢产量达到 3 000 万吨。各类锻件占钢产量比例大约为 5%~8%。锻件产量为 150~240 万吨。2004 年我国锻件总产量达到 326 万吨,居世界第三位。其中模锻件约 244 万吨,主要市场是汽车、工程机械、基础件、石化通用机械等,其中汽车锻件约占模锻件的 65%,约 160 万吨。

一般地说,锻件复杂程度不如铸件,然而铸件的内部组织和力学性能不如锻件。所以比较重要的零件都选用锻造工艺过程生产,这种态势会一直保持下去。

在现代技术水平条件下,原则上任何一种金属材料都可用锻造方法制成锻件或零件,只是难易程度不同,所消耗的原材料和能源高低不同。现在齿轮、叶片、空心轴件等典型的机加工零件,不少已被锻造代替。尽管机加工零件的精度高,表面粗糙度低,但随着锻造工艺的发展,锻件的精度和表面粗糙度也逐步达到了车床、铣床加工的水平。特别是粗糙度,有的精锻件甚至超过磨削加工水平。冷镦、冷挤压、冷精压件(锻件)可以不需机械加工或少量机械加工而直接装机使用,如各种冷温挤压标准件(销子、螺钉、螺母等)。一台自动冷镦搓丝机每分钟可生产 120 件螺钉。

按所用的工具不同,锻造可分为自由锻和模锻两大类。它们是锻造过程的主要支柱。

自由锻(open die forging)只使用简单工具利用上下砧直接使坯料成形,模锻(closed die forging)是利用模具使坯料成形。“open die forging”和“closed die forging”与我国锻压界和本书中所讲的开式模锻和闭式模锻概念完全不同。

我国有不同规格和等级的锻造企业 6 500 家,其中骨干企业 400 多家(中外合资或独资的锻造企业 25 家),各种通用锻造设备应有尽有。

我国现有锻压设备 32 000 多台,模锻设备 5 000 多台。最大模锻设备为 300 MN 水压机,最大热模锻压力机为 125 MN,最大模锻锤为 16t,我国摩擦压力机最大压力达 35 MN。最大冷、温锻压力机的压力为 10 MN,最大摆辗机的公称压力为 6.3 MN。北京机电研究所自主开发的离合器式螺旋压力机最大公称压力为 40 MN、最大的楔横轧机轧辊中心距为 1 500 mm(当前世界最大)。

天津锻压机床总厂为某企业设计的 10 MN 数控等温锻造液压机在 2003 年 11 月完成技术鉴定和验收。该机不仅可用于常温锻造,还可用于热模锻、等温超塑性成形。

德国 EUMUCO 公司、俄罗斯沃龙涅什重型机械压力机股份公司与我国第二重型机械厂均能生产 125 MN 热模锻机械压力机。

国内有几家企业正在新建 125 MN 热模锻机械压力机模锻曲轴、前轴自动线,甚至 160

MN 热模锻机械压力机模锻自动线也在计划之中。

为进一步满足轻型汽车和轿车锻件生产的需要,第二汽车制造厂在 1975 年引进德国奥穆科(Eumuco)公司的 120 MN 热模锻压力机。国内还有企业从德国引进 100 kJ 程控电液锤转向节生产线,63 MN 电动螺旋压力机曲轴锻造自动线。

锻件的复杂程度也由于多向分模的出现得到明显提高。

弹壳生产最早采用切削加工,后来用平锻机锻造后切削加工。在 20 世纪 70 年代采用先冷挤压孟体,再经多道变薄拉伸,使整个机械加工工序发生了本质的变化,变成了只有少量机加工余量的工件。

带有福线的空心管件可在径向锻造机(radial forging machine)上直接成形。径向锻造机有三个以上的锤头,同时打击被夹持并不断旋转的实心棒件或中空管件。如是径向锻造中空件,管坯中间要加芯棒。

锻件质量越来越大,随着大型水压机的出现。自由锻件单件质量达 300~350 t 以上,如大型吊钩等。模锻件的外径达 1 000 mm 以上。

我国万吨以上的水压机有 4 台,重庆某厂有特大型锻压设备 350 MN (35 000 t)水压机。这种特大型水压机可以用来压制飞机零件,如翅膀、起落架等。

模锻生产率高,锻件尺寸稳定,材料利用率高,所以普遍使用于中小型锻件成批和大量生产,如汽车、拖拉机、飞机、动力机械及手工工具等行业。在工具行业中模锻件数量大,占这些行业锻件总质量的 90%,有的甚至达到 100%,如钳子、扳手等日用五金工具。

锻造各工序之间可采用机械化传递,每台单机可进行手动操作或部分自动化操作。20 世纪 70 年代初期上海锻压机床三厂就研制成功钢丝钳模锻生产线。

为了发挥锻造业的优势,增大每一品种的生产量,为集中生产和专门化生产创造条件,要按照相似的设计要求和制造条件对各种各样的锻件进行科学分类并使之规格化和标准化。

将分散的锻造厂(车间)相对集中,组合成地区性专门化锻造中心(如有关轴承、齿轮、曲轴、连杆、叶片、轮盘、标准件的锻造中心),建立机械化、自动化程度高的锻造生产线或生产车间,采用专门的锻压设备和模具装置,按科学合理的工艺流程安排自动化生产相类似的锻件组合,甚至可以综合生产布局包括热处理和机械加工等其他后续工序组成的生产线。

由于生产工序和所使用的锻压设备,生产组织管理雷同,当改变生产相类似的品种时,生产过程变动往往不大,只是变换模具。这种方式生产效率高、故障少,因改变锻件品种或规格而调整生产线时也比较方便,发生故障时也容易排除。

在专门化大量生产条件下,采用的通用设备为油压机、模锻锤、曲柄压力机、摩擦压力机、热模锻曲柄压力机、无砧座锤等。这就要求锻压工作者一方面立足于目前设备的实际条件,另一方面要注意改进锻压设备以适应新的塑性成形技术。

不仅锻压设备应当通用,而且工具、模具也应当做到通用。

压力机更适应精锻工艺,压力机模锻替代锤上模锻,更易于实现机械化、自动化连续生产。

一般国内每个大中城市或大工厂里都有专业锻造厂或锻造车间。如重庆市的专业锻造厂有重庆锻造厂、重庆重型铸锻厂、青江机械厂等。

专门化大量生产不仅有利于采用净形和近似净形加工(net shape or near net shape)新技术、新设备、新工艺,促进技术改造,有效提高生产率和材料利用率,提高锻件的复杂程度、尺寸精度和减少表面粗糙度,减轻劳动强度和降低产品成本,而且使净形和近似净形加工的配套技术(如无氧化加热、精密下料、工艺润滑涂料、模具精密加工、锻件质量控制技术等)得到同时发展。

1.2 锻造生产的发展过程

随着工艺过程水平的不断上升,国内外锻件的材料利用率有了明显提高。然而,大多数锻件仍处于毛坯生产阶段,材料利用率只有 40%~50%。工业发达国家模锻件的数量早已超过自由锻件。

自由锻件大部分金属变为切屑。用钢锭生产的自由锻件,有 25%~33%金属作为冒口和底部切除。

模锻件也由于带有机加工余量、毛边工艺用料以及加热损耗等,材料利用率一般在 50%左右。

模锻流程是指生产一个锻件所经过的模锻生产过程,一般包括备料、加热、模锻、切边、冲孔、热处理、酸洗、清理、校正。

冷锻、冷挤工艺是 20 世纪 30 年代出现的,材料利用率在 85%以上。20 世纪 40 年代出现精锻轴类件技术;50 年代中期,我国的模锻技术开始应用于工具行业,如扳手、钳子摩擦压力机生产线,同时出现辊轧生产钢球、滚柱、轴承内外环;60 年代出现精锻锥齿轮、圆柱齿轮及各类叶片。

20 世纪 50 年代末前苏联模锻件占锻件总量 58.5%,60 年代模锻件占 65.2%。20 世纪末,美国模锻件占锻件总质量的 78.6%,法国占 89.4%,日本占 86.2%,德国占 81.9%,我国占 60%(2004 年达到 75%)。

模锻件占的比例说明了一个国家生产水平、生产率、材料利用率、生产成本及产品质量在国际竞争中的地位。

在长期的封建社会,锻造生产基本上是手工作坊生产方式的延续。直到 20 世纪初,在铁路、兵工、造船等行业少数工厂里才有极为鲜见的三吨锤和五吨锤代替手锤、铁砧进行机械化生产。

对于中小型锻件成批或大量生产的情况,自由锻造是不经济的。但对于小批量或单件生产,例如水电站发电机组的轴或轮箍这样的大型锻件,在锤上或水压机上进行自由锻,仍是可选用的经济方法。

20 世纪 50 年代末至 60 年代初,大量前苏联和少量前民主德国、捷克的锻造设备陆续进入中国(如某厂捷克制 120 MN 水压机)。几乎与此同时,我国开始实现锻压设备国产化。中国制造成功了万吨水压机(上海江南造船厂)和各种类型的锻压机械。现在我国大型锻件的生产能力居世界前列。我国可生产 60 MN 以上的液压机,如 125 MN 自由锻液压机和 350 MN 模锻液压机等。

由于汽车、摩托车工业的发展,大大促进了我国精锻技术的发展。例如花键挤压、精

锻齿轮、轮套、连杆、曲轴等零件均可冷锻成形或温锻成形。冷锻件已从早年开发的活塞销、轮胎螺母、球头销发展到等速万向节、发电机、爪极、花键轴、起动齿轮、锥齿轮、十字轴、三销轴、螺旋锥齿轮、汽车后轮轴等。冷锻成形的齿轮单件质量 1 kg 以上, 齿形精度达 7 级。最大汽车冷精锻件半轴套管重 10 kg 以上。

轿车变速箱内的轴大多数采用冷挤压, 等速万向节采用冷锻或者温锻。

事实证明, 一般的冷、温精锻采用国产设备是可行的。我国现在已可以生产 1 600kN、2 000kN、4 000kN、5 000kN、6 300kN 以及 10 000 kN 的各种型号冷挤压设备。当挤压件的产量在 10 万件以上, 品种有 2 到 3 个时, 投资购买冷挤压设备就会有较大的经济效益。

精锻技术是先进制造技术的重要组成部分, 也是汽车工业、工程机械行业中应用广泛的制造工艺方法。它可以生产更接近最终形状(净形的)金属零件, 如热精锻、冷锻和温锻都是应用发展很快的精密塑性成形技术, 它们不仅节约材料、能源、减少加工工序和设备, 而且显著提高了生产率和产品质量, 降低了生产成本。以下是我国开发热精锻、冷锻和温锻技术的一些典型应用实例^[64]。

图 1.1 所示汽车差速器齿轮(直锥齿轮)是精锻技术应用最普遍的一例。目前我国载重卡车的直锥齿轮基本都是热精锻工艺过程生产的, 齿型精度达到 8 级, 取代切齿加工; 轿车齿轮需采用冷锻工艺, 精度可以达到 7 级。

图 1.2 所示轿车等速万向节外套, 其难以切削加工的复杂内型腔是采用冷、温挤压工艺成形的, 尺寸误差达到 0.05~0.08 mm, 可以直接装机使用。

复动(闭塞)锻造工艺过程是最先进的精锻技术之一, 与传统的锻造方式不同。它不是通过模具直接锻打坯料成形, 而是在封闭的模具型腔内, 通过冲头单向或双向复动挤压成形。锻件无飞边, 材料利用率比普通模锻件提高 25% 以上; 尺寸精度高, 可以达到: 直径方向 ≤ 0.04 mm, 同心度 ≤ 0.05 mm, 厚度方向 ≤ 0.15 mm。这类精密锻件的机加工余量很小, 如万向节十字轴仅留 0.30~0.40 mm 的磨削余量。

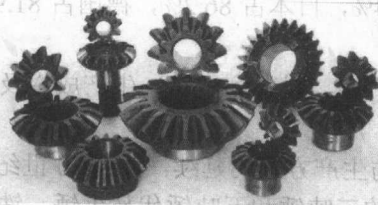


图 1.1 精锻汽车齿轮

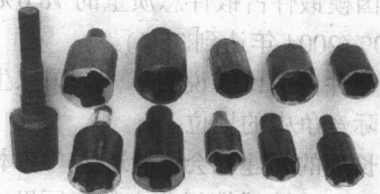


图 1.2 冷、温挤压轿车等速万向节外套

图 1.3 所示为国内开发成功的汽车精密冷锻件和冷挤压轴类零件。采用冷锻(零件质量 1.5 kg 以下)或温锻——冷锻联合成形工艺过程(零件质量 3.5 kg)生产的等速万向节外套, 其型腔精度误差 ≤ 0.08 mm, 达到少、无切削的水平。用冷挤压工艺过程生产的轴类件最大长度达到 400 mm 以上。日本和德国的一辆汽车上开发应用冷锻件达到 40~50 kg, 我国目前每辆汽车约有 30 kg 左右的冷锻件。

江苏省是我国精锻技术先进发达的地区之一, 如江苏大丰森威集团公司、江苏飞船股份公司、江苏太平洋精密锻造公司等企业的产品、工艺技术和设备水平, 目前均代表着我国冷、温精锻技术的制高点。