

锻压手册

锻造

中国机械工程学会塑性工程学会 编



第3版
修订本



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

锻 压 手 册

第 1 卷

锻 造

第 3 版修订本

中国机械工程学会塑性工程学会 编



机械工业出版社

为了提高我国机械电子行业的工艺水平,推动企业技术进步,满足科研、生产发展的需要,中国机械工程学会塑性工程(锻压)学会于1993年组织编写并出版了这部综合性工具书,并陆续修订出版了第2版和第3版。近期又有一些新的理论和技术出现,于是我们对手册进行了一些修订,增补新内容,删去技术陈旧的部分,压缩一些用量少且各行业已有相应标准的内容。本手册共分3卷:第1卷锻造、第2卷冲压、第3卷锻压车间设备。

本卷是《锻压手册》第1卷,共分9篇,其内容包括锻造的分类与锻造前的准备、自由锻造、锤上模锻、各种压力机上模锻和精密模锻、特种成形、回转成形、锻件的精整、热处理及质量控制、锻造环境保护及安全、锻造过程的数值模拟与优化及锻模的CAD/CAM等内容。本卷按生产工艺流程编排,叙述连贯,使用方便。

本手册可供锻造行业的广大工程技术人员使用,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

锻压手册. 第1卷,锻造/中国机械工程学会塑性工程学会编. —3版(修订本). —北京:机械工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-111-43189-3

I. ①锻… II. ①中… III. ①锻压-手册②锻造-手册 IV. ①TG31-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第146034号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:王春雨

责任校对:陈延翔 封面设计:姚毅

责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2013年11月第3版第1次印刷

184mm×260mm·65.5印张·17插页·2257千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43189-3

定价:178.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010)88379772

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

《锻压手册》第3版修订本编委会

主任委员 曹春晓 聂绍珉

副主任委员 王仲仁 李硕本 俞新陆 宋湛革
周贤宾 张凯锋

委 员 (按姓氏笔画排序)

朱伟成 孙友松 刘彩英 阮雪榆

宋玉泉 李志刚 李明哲 杨 合

杨建辉 张士宏 张倩生 陆 辛

钟约先 胡正寰 海锦涛 黄树槐

本卷第3版修订本编写人员

主 编	王仲仁	张凯锋	陆 辛	
学术秘书	王国峰			
篇负责人	第一篇	王仲仁		
	第二篇	吕 炎	单德彬	
	第三篇	王忠金		
	第四篇	夏巨湛	吴玉坚	王新云
	第五篇	陆 辛		
	第六篇	胡正寰	华 林	
	第七篇	杨 合		
	第八篇	苑世剑		
	第九篇	张凯锋		

编写人员 (按姓氏笔画排列)

马 璟	王小松	王少刚	王尔德	王仲仁
王典钧	王忠金	王国峰	王新云	白学周
吕 炎	朱宝泉	孙爱学	刘助柏	刘润广
刘润农	刘 钢	刘郁丽	刘晋平	许 沂
杜之明	杨尹任	杨 合	李国隆	李森泉
宋宝韪	吴公明	吴听松	吴诗惇	华 林
成应钦	苏长青	何 东	何祝斌	陆 辛
张承鉴	张凯锋	张柏年	张程勇	张 鸿
张 巍	陈 军	陈宗霖	陈炳森	陈维民
陈诗荪	赵一平	赵云路	赵仲治	赵 震
罗守靖	罗晴岚	周大隽	周纪华	周德成
苑世剑	郎立辉	单德彬	林淑维	胡正寰
胡亚民	胡连喜	夏巨湛	夏宗纲	徐文臣
袁 林	崔世强	黄良驹	黄 春	符 蓉
郭会光	海锦涛	康达昌	章争荣	舒其馥
曾卫东	谢 锐	蔡喜明	管克智	薛克敏
滕步刚	樊百林	戴万福	宗影影	程远胜
钱东升	韩星会	裴兴华	王 焱	山

本卷第3版编写人员

主 编 篇负责人	王仲仁	张凯锋	
	第一篇	王仲仁	
	第二篇	吕 炎	单德彬
	第三篇	王忠金	
	第四篇	夏巨湛	吴玉坚
	第五篇	陆 辛	
	第六篇	胡正寰	华 林
	第七篇	杨 合	
	第八篇	苑世剑	
第九篇	张凯锋		

编写人员 (按姓氏笔画排列)

马 璟	王小松	王少岗	王尔德	王仲仁
王典钧	王忠金	王国峰	王新云	白学周
吕 炎	朱宝泉	孙爱学	刘助柏	刘润广
刘润农	刘 钢	刘郁丽	刘晋平	许 沂
杜之明	杨尹任	杨 合	李国隆	李森泉
宋宝韞	吴公明	吴听松	吴诗惇	华 林
成应钦	苏长青	何 东	何祝斌	陆 辛
张承鉴	张凯锋	张柏年	张程勇	张 鸿
张 巍	陈 军	陈宗霖	陈炳森	陈维民
陈诗荪	赵一平	赵云路	赵仲治	赵 震
罗守靖	罗晴岚	周大隽	周纪华	周德成
苑世剑	郎立辉	单德彬	林淑维	胡正寰
胡亚民	胡连喜	夏巨湛	夏宗纲	徐文臣
袁 林	崔世强	黄良驹	黄 春	符 蓉
郭会光	海锦涛	康达昌	章争荣	舒其馥
曾卫东	谢 锐	蔡喜明	管克智	薛克敏
滕步刚	樊百林	戴万福		

本卷第2版编写人员

主 编 副 主 编 篇负责人	王仲仁			
	皇甫骅	辛宗仁	张凯锋	
	第一篇	王仲仁		
	第二篇	吕 炎		
	第三篇	白学周	陈炳森	王忠金
	第四篇	吴听松		
	第五篇	皇甫骅	康达昌	
	第六篇	胡正寰	苑世剑	
	第七篇	陈诗荪	刘润广	
第八篇	辛宗仁	陈维民		
第九篇	张凯锋			

编写人员 (按姓氏笔画排列)

王仲仁	王尔德	王典钧	王忠金	王焱山
白学周	吕 炎	朱宝泉	孙爱学	刘助柏
刘润广	刘祖岩	刘 钢	许 沂	杜之明
杨尹任	李国隆	宋宝韪	辛宗仁	吴公明
吴听松	吴诗惇	苏长青	张承鉴	张凯锋
张柏年	张 猛	张程勇	张 巍	汪 涛
陈宗霖	陈炳森	陈维民	陈诗荪	赵一平
赵云路	赵仲治	罗守靖	罗晴岚	周大隽
周纪华	周德成	苑世剑	郎立辉	单德彬
林淑维	胡正寰	饶 潞	皇甫骅	贾占全
夏宗纲	崔世强	黄 春	郭会光	郭殿俭
海锦涛	康达昌	舒其馥	蔡喜明	裴兴华
管克智	薛克敏	戴万福		

《锻压手册》第1版编委会

荣誉主任委员 何光远

主任委员 海锦涛

副主任委员 周大隼 王焱山 闵学熊

王仲仁 李硕本 俞新陆

委员 (按姓氏笔画顺序排列)

王祖唐 付沛福 刘才正 刘庚申

刘彩英 朱红海 孙育志 阮雪榆

陈上达 陈适先 陈锡禄 李成功

李社钊 李郁华 李铁生 吴听松

杨志敏 辛宗仁 何绍元 何富源

张承鉴 肖景荣 林秀安 俞云焕

胡世光 胡正寰 皇甫骅 姜奎华

夏天赳 常希如 黄树槐 程瑞全

霍文灿 戴可德

第3版修订本前言

《锻压手册》(第一卷 锻造)自1993年第1版问世以来,已经走过了20个年头。其间,第2版和第3版分别于2002年和2008年出版。20年来,本手册作为中国第一本锻造行业内高水平专家编写的系统而全面的锻造专业工具书,以其详实的内容、丰富的数据资料和很强的实用性而受到广大锻造行业读者的欢迎,为我国锻造行业的发展发挥了重要作用。手册不仅仅是一本工具书,在历次编写过程中,业内高水平专家汇聚在一起,从较高的视角、较宽的视野对锻造技术进行了多次梳理,使我们对于锻造技术发展的现状把握更为明确,发展路线更为清晰。

2008年修订出版的手册第3版,增加或充实了较多的内容,主要有:成形新技术,如微成形、增量成形及内高压成形的介绍与应用;螺旋压力机、机械压力机与液压机上的精锻;粉末成形与钛合金成形;锻造过程的有限元分析及优化;辗环与楔横轧;锻件清理设备;塑性成形力学等。

近年来,我国国民经济、国防建设尤其是制造业的迅速发展对于锻造技术提出了更高的需求,也极大地促进了锻造行业技术水平的发展;在我国国际地位提升的同时,我国锻压业在国际锻压界的学术地位也不断提高。时隔4年,我国锻压技术在以往基础上又有了一些拓展提高;和锻压行业密切相关的国家标准“金属力学性能试验出版标准中的符号及定义”也于2009年发布。此修订本反映了以上变化。特别值得高兴的是,这次手册修订工作中又有一批年轻学者加入,这标志着中国锻造行业的发达兴旺,也保证了手册编写工作的可持续发展。

有部分手册的老作者已经不能参加此次修订工作,我们感谢他们为手册编写所奠定的基础。

王仲仁 张凯锋 陆 辛

目 录

第3版修订本前言

概论	1
----------	---

第一篇 锻造的分类与锻前准备

概述	3	第四节 应力—应变关系及顺序对应规律	68
第一章 锻造的分类与发展趋势	4	第五节 变形力解析的切块法	69
参考文献	11	第六节 变形力解析的滑移线法和上限法	71
第二章 算料与下料	12	第七节 塑性成形过程的物理模拟	75
第一节 算料	12	参考文献	83
第二节 下料	13	第五章 金属塑性变形时的流动应力	84
参考文献	32	第一节 流动应力的测定方法	84
第三章 金属加热及温度测量	33	第二节 影响流动应力的因素	86
第一节 金属加热的目的及加热方法	33	第三节 常用金属材料的流动应力	88
第二节 金属加热时物理性质和力学性能的变化	35	参考文献	104
第三节 金属锻造温度范围的确定	37	第六章 金属塑性成形中的摩擦与	
第四节 金属加热时间的计算	40	润滑	105
第五节 金属加热温度的测量	49	第一节 塑性成形中的摩擦及其特点	105
参考文献	56	第二节 塑性成形中的摩擦模型	106
第四章 金属塑性成形力学分析	57	第三节 塑性成形中的摩擦因数测定	107
第一节 应力	57	第四节 塑性成形时润滑的分类	108
第二节 应变	63	第五节 典型成形工序用的润滑剂	110
第三节 屈服准则	64	参考文献	121

第二篇 自由锻造

概述	122	第六节 大锻件锻后冷却和热处理	179
第一章 锤上自由锻造	123	第七节 大型锻件锻造工艺实例	189
第一节 自由锻造的基本工序	123	参考文献	194
第二节 工艺过程的制订	134	第三章 合金钢和有色金属锻造特点	195
第三节 锤上自由锻工艺举例	155	第一节 莱氏体高合金工具钢的锻造	195
参考文献	158	第二节 不锈钢锻造	204
第二章 液压机上自由锻	159	第三节 高温合金锻造	208
第一节 大锻件生产的特点	159	第四节 铝合金锻造	216
第二节 锻造用钢锭	159	第五节 镁合金锻造	222
第三节 钢锭与钢坯的加热	166	第六节 铜合金锻造	226
第四节 大型锻件的主要变形工序	171	第七节 钛合金锻造	231
第五节 液压机自由锻工艺装备	176	参考文献	241

第三篇 锤上模锻

概述	242	参考文献	257
第一章 模锻件图的制订	243	第二章 模锻锤上模锻	258

第一节 锻锤吨位的确定 258

第二节 模锻工步选择及坯料计算 260

第三节 终锻及预锻模膛 277

第四节 制坯模膛设计 285

第五节 切断模膛 299

第六节 锻模的结构 300

第七节 镶块锻模成组模锻工艺特点 316

第八节 典型件模锻示例 323

参考文献 345

第三章 对击锤上模锻 346

第一节 对击锤的运动特点 346

第二节 对击锤上模锻介绍 346

第三节 对击锤上模锻实例 348

参考文献 353

第四篇 各种压力机上模锻和精密模锻

概述 354

第一章 摩擦螺旋压力机上模锻及精密模锻 355

第一节 螺旋压力机上模锻的特点 355

第二节 各类锻件的工艺及模具特点 355

第三节 锻模的设计特点 364

第四节 设备公称压力的选择 375

第五节 精密模锻工艺及模具 375

参考文献 387

第二章 热模锻压力机上模锻 388

第一节 热模锻压力机上模锻特点与应用 388

第二节 锻件分类与工艺分析 389

第三节 热模锻压力机上模锻工步设计与坯料选择 396

第四节 热模锻压力机上模锻力计算 406

第五节 热模锻压力机上模锻的模架 409

第六节 热模锻压力机上模锻的锻模结构与模膛设计 413

第七节 热模锻压力机上模锻工艺实例 418

第三章 平锻机上模锻 423

第一节 平锻机模锻特点及其应用 423

第二节 镦粗（聚集）规则 427

第三节 平锻工步设计 431

第四节 平锻模膛和凸模、凹模镶块 436

第五节 平锻模结构 448

第六节 典型锻件的工艺及其模具设计 449

第七节 水平分模平锻机热挤压工艺 451

第八节 高速热镦锻机上模锻 455

第四章 机械压力机与液压机上精密模锻 460

第一节 精密模锻的新进展 460

第二节 影响锻件尺寸精度的主要因素及其控制方法 464

第三节 模具种类及其设计的要点 467

第四节 机械压力机上精密模锻 471

第五节 液压机上精密模锻 498

参考文献 506

第五篇 特种成形

概述 508

第一章 冷锻 510

第一节 冷锻概念 510

第二节 冷锻用原材料与制坯 518

第三节 冷锻工艺 520

第四节 冷锻模具设计 541

第五节 冷锻件生产实例 552

参考文献 553

第二章 温锻 554

第一节 温锻的特点及温度选择 554

第二节 温锻的准备 558

第三节 温锻变形力 559

第四节 温锻模具 562

第五节 温锻产品的质量 566

第六节 温锻的应用实例 570

参考文献 576

第三章 固-液态加工 577

第一节 工艺特点、分类及适用范围 577

第二节 成形用模具 582

第三节 成形用设备 585

第四节 制件质量及控制 589

第五节 应用实例 596

参考文献 599

第四章 等温锻造与超塑锻造 601

第一节 等温锻造与超塑锻造的特点及应用范围 601

第二节 等温锻造与超塑锻造的材料及工艺规范	602	第三节 粉末锻造时金属粉末的选择	619
第三节 等温锻造与超塑锻造的变形力计算及设备选择	606	第四节 预成形坯的设计与成形	622
第四节 等温锻造与超塑锻造的摩擦与润滑	607	第五节 预成形坯的锻造	625
第五节 等温锻造与超塑锻造的工艺与应用	607	第六节 典型件的粉末锻造工艺及力学性能	628
第六节 等温锻造与超塑锻造的工艺实例	609	第七节 粉末热等静压和粉末喷射锻造	634
参考文献	611	参考文献	636
第五章 粉末锻造	613	第六章 特种成形技术的发展与展望	637
第一节 粉末锻造的特点、分类及应用	613	第一节 概述	637
第二节 预成形坯的变形与致密	615	第二节 材料智能化制备与成形加工技术	638
		第三节 微成形	641
		第四节 粉末注射成形技术	645
		参考文献	647

第六篇 回转成形

概述	650	第三节 轧环工艺参数的确定	716
第一章 辊锻	651	第四节 轧环用毛坯和模具的设计	720
第一节 辊锻原理、特点和用途	651	第五节 轧环力能参数的确定	729
第二节 辊锻的变形机理	652	第六节 轧环工艺流程和生产线	731
第三节 辊锻工艺参数的确定	653	参考文献	732
第四节 辊锻模具设计	657	第五章 摆辗	734
第五节 辊锻力能参数的确定	671	第一节 摆辗原理、特点和用途	734
参考文献	674	第二节 摆辗的变形机理	735
第二章 楔横轧	675	第三节 摆辗工艺参数的确定	738
第一节 楔横轧原理、特点和用途	675	第四节 摆辗模具的设计	741
第二节 楔横轧变形机理	676	第五节 摆辗力能参数的确定	749
第三节 楔横轧工艺参数确定	682	第六节 摆辗成形举例	750
第四节 楔横轧模具设计	683	参考文献	755
参考文献	689	第六章 径向锻造	756
第三章 孔型斜轧	691	第一节 径向锻造原理、特点和用途	756
第一节 斜轧原理、特点和用途	691	第二节 径向锻造的变形过程	759
第二节 斜轧的应变与应力场	692	第三节 径向锻造工艺过程参数的确定	762
第三节 斜轧工艺参数的确定	701	第四节 径向锻造的锤头、夹爪和芯轴的设计	764
第四节 模具设计	703	第五节 径向锻造力能参数的确定	768
参考文献	710	第六节 径向锻造工艺过程的数值模拟	771
第四章 轧环	711	参考文献	785
第一节 轧环原理、特点和用途	711		
第二节 轧环的变形机理	712		

第七篇 锻件的精整、热处理及质量控制

概述	787	第三节 级进模	805
第一章 切边与冲连皮	788	第四节 复合模	805
第一节 切边与冲连皮的方法	788	第二章 精压与校正	813
第二节 简单切边模与冲连皮模	789	第一节 精压	813

第二节 校正.....	823	第四节 光饰.....	891
参考文献.....	830	第五节 酸洗.....	893
第三章 锻件的冷却和热处理	831	第六节 热坯料的清理.....	902
第一节 锻件的冷却.....	831	第七节 局部表面缺陷的清理.....	904
第二节 锻件的热处理.....	834	参考文献.....	906
第三节 锻件的余热处理.....	873	第五章 锻件质量检验与控制	907
参考文献.....	877	第一节 锻件缺陷的主要特征及其产生原因.....	907
第四章 锻件和坯料的清理	878	第二节 锻件质量检验内容及方法.....	913
第一节 滚筒清理.....	879	第三节 锻件的质量控制.....	924
第二节 喷丸(砂)清理	880		
第三节 抛丸清理.....	883		

第八篇 锻造环境保护及安全

概述	930	治理.....	963
第一章 锻造环境保护	931	参考文献.....	966
第一节 锻造生产的振动检测与分析.....	931	第二章 锻造安全技术	968
第二节 冲击性锻造设备的减振与隔振技术.....	937	第一节 系统安全分析方法与评价.....	968
第三节 锻造生产中的噪声及降噪技术.....	945	第二节 锻造车间安全生产主要对策及一般准则.....	972
第四节 锻造生产中的烟尘及防治技术.....	954	第三节 自由锻造安全生产技术.....	974
第五节 锻造生产中有害气体来源及其防治.....	962	第四节 模锻安全生产技术.....	976
第六节 锻造生产中有害废水的来源与参考文献.....	963	参考文献.....	977

第九篇 锻造过程的数值模拟与优化及锻模的 CAD/CAM

概述	978	第三节 基于数值模拟的锻造工艺优化设计的基本步骤	1004
第一章 锻造过程的刚粘塑性有限元分析	979	第四节 基于数值模拟的金属锻造工艺优化设计及实例	1007
第一节 引言.....	979	参考文献	1012
第二节 有限元的基本概念.....	979	第三章 锻模 CAD/CAM	1013
第三节 刚塑性有限元法.....	986	第一节 锻模 CAD/CAM 概论	1013
第四节 刚塑性有限元法在金属体积成形中的应用实例.....	989	第二节 零件造型及锻件输入	1020
参考文献.....	998	第三节 利用成组技术建立锻模 CAD/CAM 系统的方法	1025
第二章 锻造工艺优化设计	999	第四节 锻模 CAD/CAM 系统	1028
第一节 锻造工艺优化的意义.....	999	参考文献	1033
第二节 锻造工艺优化常用的数学优化方法.....	999		

概 论

锻造是塑性加工的重要分支。它是利用材料的可塑性，借助外力的作用产生塑性变形，获得所需形状、尺寸和一定组织性能的锻件。

各国习惯上将塑性加工分为两大类。一类是生产原材料（如管、板、型、棒）为主的加工称为一次塑性加工。另一类是生产零件及其毛坯（包括锻件、冲压件等）为主的加工称为二次塑性加工。因为在大多数情况下，二次加工都是用经过一次加工所提供的原材料进行再次加工，但大型锻件多用铸锭为原材

料直接锻成锻件，对于粉末锻造则以粉末为原料。

二次塑性加工根据所用原材料的不同，又可分为体积成形（Bulk forming）及板料成形（Sheet forming），前者所用原材料为棒料及块料，受力属于三向应力状态，后者多用板材为原材料，变形过程习惯上多按平面应力状态来分析。

由上述分析可见，锻造属于二次塑性加工，变形方式为体积成形。

实现塑性加工过程的基本环节如图 1 所示。

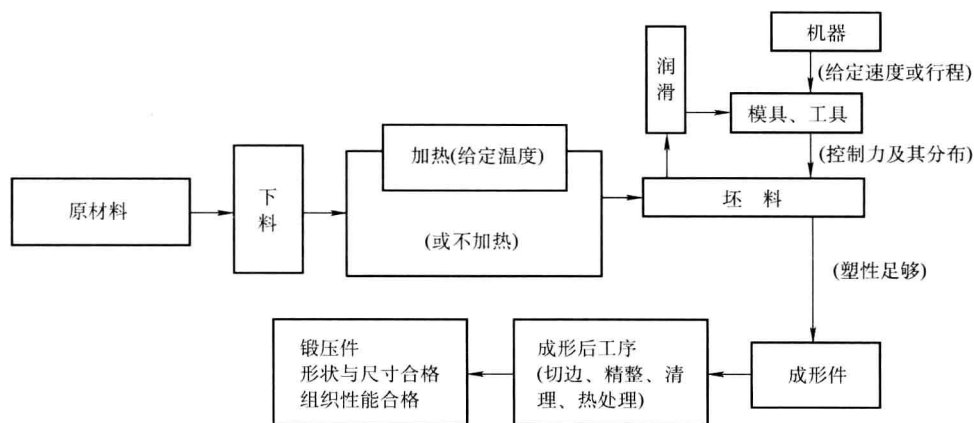


图 1 塑性加工过程的基本环节

由图 1 可见，任何一个锻造过程的根本目的都是为了获得符合图样要求的外形、尺寸及内部组织性能合格的锻件。而成形的基本条件有两个，一是在变形过程中材料能承受所需的变形量而不破坏，二是施力条件，也就是设备通过模具向工件施加足够大的及特定分布的力。努力创造条件，优化工艺过程，生产合格的锻件是锻压工作者的重要任务。

锻造工艺选择是灵活多样的，仅以成形工序而言，同一种模锻件可以用不同设备或不同方法来完成。例如连杆若在模锻锤上成形时，坯料在同一副模具（见本书第三篇第二章）中完成拔长、滚压、预锻及终锻。如若用机械压力机模锻，则需预先采用滚

锻制坯（见本书第四篇第二章）。若用成形辊锻方法（见本书第六篇第一章）来生产，则可在精密辊锻后再加上一道整形工序而获得合格件。

又如阶梯轴多工位冷锻（见图 2），对于同一锻件可以有不同的工艺路线，采用不同的毛坯，相应地中间工序也不相同，有些包含正挤压（图中 F ），有些采用顶锻（图中 U ）。所需变形力大小也不等。模具寿命差别也较大。

当设备条件（如吨位等）已固定时，可选择的方案也就不那么多了，当原材料性能及规格固定后，并不是图中所有方案都能适用。

在保证产品的外观和内部质量及生产率的前提

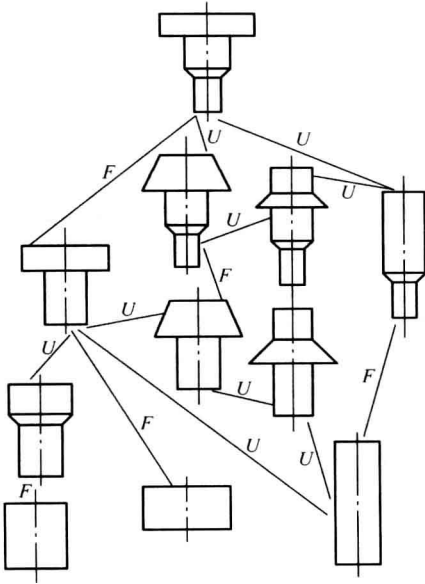


图2 阶梯轴多工位冷锻工艺

下，选择成形工艺方案应考虑的基本出发点为经济效益好，具体地说：

1) 节约原材料。尽量采用近无余量成形，或近净成形 (Near net shape forming)，即少无切削加工。

2) 减少能耗。不能只看某一工序的能耗，而是要看总能耗，初看起来冷锻因省去加热的工序，能耗下降，但还应考虑冷锻前的软化处理及工序间的退火所消耗的能量。采用非调质钢及余热形变热处理都是节能工艺。

3) 降低变形力。尽量采用省力的成形方法，这不仅可以减小设备吨位，减少初投资。还可以提高模具寿命。回转成形在近年来获得广泛应用的原因也在于此。

4) 工艺稳定性好。一个好的工艺应表现在能实现长期连续生产，而不刻意追求某些单项指标高 (例如道次少，每道次变形量大)，反而导致成品率低或经常折损模具。

第一篇 锻造的分类与锻前准备

概 述

锻造可以按以下几种方法分类：

- 1) 按锻造所用工具及模具安置情况不同分类。
- 2) 按锻造成形温度分类。
- 3) 按模锻工具及工件的相对运动方式分类。

锻造前的准备包括原材料选择、算料、下料、加热、计算变形力、选择设备、设计模具。锻造前还需选择好润滑方法及润滑剂。

锻造用材料涉及面很宽，既有多种牌号的钢及高温合金，又有铝、镁、钛、铜等有色金属；既有经过一次加工成不同尺寸的棒材和型材，又有多种规格的锭料；除了大量采用适合我国资源的国产材料外，又有来自国外的材料。所锻材料大多数是已列入国家标准的。也有不少是研制、试用及推广的新材料。众所周知，产品的质量往往与原材料的质量密切相关，因此对锻造工作者来说，必须具有广泛深入的材料知识，要善于根据工艺要求选择最合适的材料。

算料与下料是提高材料利用率，实现毛坯精化的重要环节之一。过多材料不仅造成浪费，而且加剧模膛磨损和能量消耗。下料若不稍留余量，将增加工艺调整的难度，增加废品率。此外，下料端面质量对工艺和锻件质量也有影响。

加热的目的是为了降低锻造变形力和提高金属塑性。但加热也带来一系列问题，如氧化、脱碳、过热及过烧等。准确控制始锻及终锻温度，对产品组织与性能有极大影响。

火焰炉加热具有费用低，适应性强的优点，但加热时间长，容易产生氧化和脱碳，劳动条件也需不断改善。感应加热具有加热迅速、氧化少的优点，但对产品形状尺寸及材质变化的适应性差。加热工序的能耗在锻造生产耗能中占举足轻重的地位，应予充分

重视。

锻造成形是在外力作用下产生的。因此，正确计算变形力，是选择设备、进行模具校核的依据。对变形体内部进行应力应变分析，也是优化工艺过程和控制锻件组织性能所不可缺少的。

变形力的分析方法主要有四种。主应力法虽不十分严密，但比较简单直观，可以计算出总压力及工件与工具接触面上的应力分布，可以直观地看出工件的高径比和摩擦因数对其影响；滑移线法对于平面应变问题是严格的，对于工件局部变形求解应力分布比较直观，但适用范围较窄，近来已很少有文献报道；上限法可以给出高估的载荷，从学术角度不很严密，能给出的信息量远少于有限元法，因而近来也很少应用；有限元法不仅可以给出外载荷及工件外形的变化，还可以给出内部的应力应变分布，预报可能出现的缺陷，是一个功能很强的方法。前些年，由于计算所需机时很长，网格重划等技术问题有待完善，应用范围仅限于高等学校和科学研究单位，近年来由于计算机的普及和运算速度迅速提高，及有限元分析的商业软件日趋完善，该方法越来越成为基本的分析计算工具。

减少摩擦，不仅可以节约能源，还可以提高模具寿命。由于变形比较均匀，有助于提高产品的组织性能，减少摩擦的重要措施之一就是采用润滑。由于锻造的方式不同及工作温度的差异，所用润滑剂也不同。玻璃润滑剂多用于高温合金及钛合金锻造。对钢的热锻，水基石墨是应用得很广泛的润滑剂，对于冷锻，由于压强很高，锻前往往还需要进行磷酸盐或草酸盐处理。

第一章 锻造的分类与发展趋势

哈尔滨工业大学 王仲仁

一、锻造的分类

锻造按所用工具及模具安置情况不同可以分为以下几类,见表1-1-1。

表 1-1-1 按工具及模具安置情况分类

名称	特 点
自由锻	靠固定的平砧活型砧成形
胎模锻	锻模为可移动式
模锻	锻模为固定式

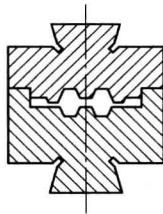
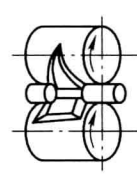
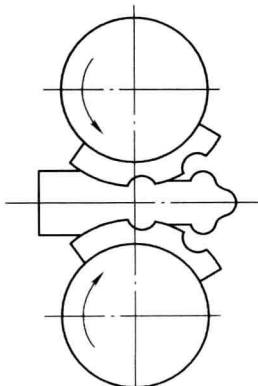
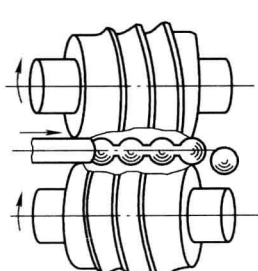
模锻按成形温度可以分为以下几种,见表1-1-2。

模锻按工具及工件的相对运动方式分类见表1-1-3。

表 1-1-2 模锻按温度分类

名称	特 点
热锻	终锻温度高于再结晶温度的锻造过程,工件温度高于模具温度
等温锻	模具带加热和保温装置
冷锻	指室温下进行的或低于工件再结晶温度的锻造
温锻	介于热锻及冷锻之间的加热锻造

表 1-1-3 模锻按运动分类

名 称	特 点	名 称	特 点
<p>普通模锻</p> 	<p>模具相对于坯料作直线往复运动</p>	<p>横 轧</p> 	<p>轧辊轴线相互平行,旋转方向相同,轧件旋转轴线与轧辊旋转轴线平行,但旋转方向相反</p>
<p>辊 锻</p> 	<p>毛坯作直线运动,两辊锻模作旋转运动,转向相反,其旋转轴线与毛坯运动方向垂直</p>	<p>斜 轧</p> 	<p>轧辊轴线交叉成一个小角度,其旋转方向相同。轧件在两辊交叉中心线上作与轧辊旋转方向相反的运动</p>