

锻压手册

锻造

中国机械工程学会塑性工程学会 编

第3版

第
1
卷
2 3



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TG31-62/2

:1

2008

锻 压 手 册

第 1 卷

锻 造

第 3 版

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,并于2001年修订出版了第2版。锻压技术的迅速发展要求我们对手册进行新一轮修订,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。修订后的本手册内容以国内生产实践经验和科研成果为主,同时吸收一些国外新的先进经验和先进技术,使其更具有实用性、科学性、先进性和全面性。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、环境保护与安全、锻造过程的数值模拟与优化及锻模的CAD/CAM等内容。此次修订,重点补充了特种成形新技术(如微成形、增量成形、粉末注射成形);在螺旋压力机、机械压力机与液压机上的精锻;锻造过程的优化;锻件清理设备;塑性成形力学等内容。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. —北京: 机械工业出版社, 2007. 10
ISBN 978-7-111-22255-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第148939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: 刘彩英

责任编辑: 李建秀 版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文

封面设计: 姚毅 责任印制: 李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2008年1月第3版第1次印刷

169mm×239mm·35印张·4插页·2117千字

0001—4000册

标准书号: ISBN 978-7-111-22255-2

定价: 105.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

《锻压手册》第3版编委会

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	王少松	王尔德	王仲仁
王典钧	王国峰	王新云	白学周
吕 炎	孙爱学	刘助柏	刘润广
刘润农	刘郁丽	刘晋平	许 沂
杜之明	杨 合	李国隆	李森泉
宋宝韫	吴听松	吴诗惇	华 林
成应钦	何 东	何祝斌	陆 辛
张承鉴	张柏年	张程勇	张 鸿
张 巍	陈宗霖	陈炳森	陈维民
陈诗荪	赵云路	赵仲治	赵 震
罗守靖	周大隽	周纪华	周德成
苑世剑	单德彬	林淑维	胡正寰
胡亚民	夏巨湛	夏宗纲	徐文臣
袁 林	黄良驹	黄 春	符 蓉
郭会光	康达昌	章争荣	舒其馥
曾卫东	蔡喜明	管克智	薛克敏
滕步刚	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
第一篇
第二篇
第三篇
第四篇
第五篇
第六篇
第七篇
第八篇
第九篇

辛宗仁
王仲仁
吕 炎
白学周
吴听松
皇甫骅
胡正寰
陈诗荪
辛宗仁
张凯锋

张凯锋

陈炳森

王忠金

康达昌

苑世剑

刘润广

陈维民

编写人员 (按姓氏笔画排列)

王仲仁
白学周
刘润广
杨尹任
吴听松
张柏年
陈宗霖
赵云路
周纪华
林淑维
夏宗纲
海锦涛
管克智

王尔德
吕 炎
刘祖岩
李国隆
吴诗惇
张 猛
陈炳森
赵仲治
周德成
胡正寰
崔世强
康达昌
薛克敏

王典钧
朱宝泉
刘 钢
宋宝韞
苏长青
张程勇
陈维民
罗守靖
苑世剑
饶 潞
黄 春
舒其馥
戴万福

王忠金
孙爱学
许 沂
辛宗仁
张承鉴
张 巍
陈诗荪
罗晴岚
郎立辉
皇甫骅
郭会光
蔡喜明

王焱山
刘助柏
杜之明
吴公明
张凯锋
汪 涛
赵一平
周大隽
单德彬
贾占全
郭殿俭
裴兴华

《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 周大隽 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版前言

《锻压手册》是中国机械工程学会塑性工程（锻压）学会组织编写的一部反映行业最新技术发展的大型工具书，第1版、第2版顺利出版，并受到了广大读者和社会各界的好评，在生产、科研和教学中起到了十分显著的指导作用。它发展到今天，凝结着中国锻压行业几代人的劳动和心血。近年来新技术、新工艺不断出现，塑性加工技术取得了空前的进展，加之相关标准的修订和替换，作为锻压行业的权威工具书，为了跟上技术发展的步伐，继续保持其实用性、先进性、可靠性、综合性的特色，更好地为广大技术人员服务，决定对该手册进行第3版修订，使《锻压手册》这一成果继续发展并传承下去。

《锻压手册》锻造卷自1996年问世以来，以其内容的丰富和很强的实用性受到广大锻造行业读者的欢迎。该手册是集中了本行业内高水平专家编写的一本系统而全面的锻造行业工具书。它不仅反映了锻造理论、锻造前的下料与加热、各种锻造成形工艺与模具设计、锻造后的精整和热处理，还对环境保护与安全问题及锻造过程的有限元分析和锻模的CAD/CAM给予了阐述。

2002年修订出版的《锻压手册》第2版，除在原有篇章中增补了部分新内容外，主要是删减了一些使用面过窄及比较陈旧的内容。考虑到有限元分析及锻模CAD/CAM已经实用化，特增加一篇“锻造过程的刚塑性有限元分析与锻模CAD/CAM”给予重点补充。

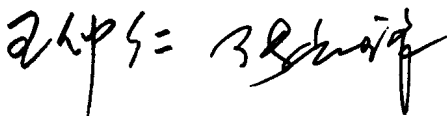
时隔5年，《锻压手册》再次修订出版，应该说从整体上这次新增加的内容比较多。其主要原因是近年来国际及国内在锻造理论与实践中有长足的发展，与锻造有关的新工艺与新设备增添了很多。这次新增加或充实的内容主要有：

- (1) 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。
- (2) 螺旋压力机、机械压力机与液压机上的精锻。
- (3) 粉末成形与钛合金成形。
- (4) 锻造过程的有限元分析及优化。
- (5) 辗环与楔横轧。
- (6) 锻件清理设备。
- (7) 塑性成形力学。

值得高兴的是，这次手册修订工作中有一批年轻人加入，这种新老结合的形式保证了手册编写工作的持续与兴旺。

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。

哈尔滨工业大学材料工程系的教师们不辞辛劳地为手册修订起了骨干作用，在教师指导下博士生们也协助做了不少工作，在此一并致谢。



于哈尔滨工业大学

目 录

第3版前言

概论	1
----------	---

第一篇 锻造的分类与锻前准备

概述	3
第一章 锻造的分类与发展趋势	4
参考文献	11
第二章 算料与下料	12
第一节 算料	12
第二节 下料	13
参考文献	32
第三章 金属加热及温度测量	33
第一节 金属加热的目的及加热方法	33
第二节 金属加热时物理性质和力学性能的变化	35
第三节 金属锻造温度范围的确定	37
第四节 金属加热时间的计算	40
第五节 金属加热温度的测量	49
参考文献	56
第四章 金属塑性成形力学分析	57
第一节 应力	57
第二节 应变	63
第三节 屈服准则	65
第四节 应力—应变关系及顺序对应	

规律	69
第五节 变形力解析的切块法	70
第六节 变形力解析的滑移线法和上限法	72
第七节 塑性成形过程的物理模拟	77
参考文献	85
第五章 金属塑性变形时的流动应力	87
第一节 流动应力的测定方法	87
第二节 影响流动应力的因素	89
第三节 常用金属材料的流动应力	92
参考文献	109
第六章 金属塑性成形中的摩擦与润滑	110
第一节 塑性成形中的摩擦及其特点	110
第二节 塑性成形中的摩擦模型	111
第三节 塑性成形中的摩擦因数测定	112
第四节 塑性成形时润滑的分类	114
第五节 典型成形工序用的润滑剂	115
参考文献	128

第二篇 自由锻造

概述	129
第一章 锤上自由锻造	130
第一节 自由锻造的基本工序	130
第二节 工艺过程的制订	142
第三节 锤上自由锻工艺举例	164
参考文献	167
第二章 液压机上自由锻	168
第一节 大锻件生产的特点	168
第二节 锻造用钢锭	169
第三节 钢锭与钢坯的加热	176
第四节 大型锻造的主要变形工序	180

第五节 液压机自由锻工艺装备	186
第六节 大锻件锻后冷却和热处理	189
第七节 大型锻造工艺实例	199
参考文献	204
第三章 合金钢和有色合金锻造特点	205
第一节 莱氏体高合金工具钢的锻造	205
第二节 不锈钢锻造	214
第三节 高温合金锻造	218
第四节 铝合金锻造	228
第五节 镁合金锻造	233

第六节 铜合金锻造	238
第七节 钛合金锻造	243

参考文献	254
------------	-----

第三篇 锤 上 模 锻

概述	255
第一章 模锻件图的制订	257
参考文献	272
第二章 模锻锤上模锻	273
第一节 锻锤吨位的确定	273
第二节 模锻工步选择及坯料计算	275
第三节 终锻及预锻模膛	294
第四节 制坯模膛设计	303
第五节 切断模膛	319

第六节 锻模的结构	320
第七节 镶块锻模成组模锻工艺特点	337
第八节 典型件模锻示例	345
参考文献	367
第三章 对击锤上模锻	368
第一节 对击锤的运动特点	368
第二节 对击锤上模锻介绍	368
第三节 对击锤上模锻实例	370
参考文献	376

第四篇 各种压力机上模锻和精密模锻

概述	377
第一章 螺旋压力机上模锻及精密模锻	378
第一节 螺旋压力机上模锻的特点	378
第二节 各类锻件的工艺及模具特点	378
第三节 锻模的设计特点	388
第四节 设备公称压力的选择	399
第五节 精密模锻工艺及模具	400
参考文献	412
第二章 热模锻压力机上模锻	414
第一节 热模锻压力机上模锻特点与 应用	414
第二节 锻件分类与工艺分析	415
第三节 热模锻压力机上模锻工步设计 与坯料选择	422
第四节 热模锻压力机上模锻力计算	433
第五节 热模锻压力机上模锻的模架	437
第六节 热模锻压力机上模锻的锻模 结构与模膛设计	440
第七节 热模锻压力机上模锻工艺	

实例	446
第三章 平锻机上模锻	452
第一节 平锻机模锻特点及其应用	452
第二节 锻粗（聚集）规则	457
第三节 平锻工步设计	461
第四节 平锻模膛和凸模、凹模镶块	467
第五节 平锻模结构	479
第六节 典型锻件的工艺及其模具 设计	480
第七节 水平分模平锻机热挤压工艺	482
第八节 高速热锻机上模锻	487
第四章 机械压力机与液压机上 精密模锻	493
第一节 精密模锻的新进展	493
第二节 影响锻件尺寸精度的主要因素 及其控制方法	497
第三节 模具种类及其设计的要点	500
第四节 机械压力机上精密模锻	505
第五节 液压机上精密模锻	534
参考文献	543

第五篇 特 种 成 形

概述	544
第一章 冷锻	546
第一节 冷锻概念	546
第二节 冷锻用原材料与制坯	554
第三节 冷锻工艺	557

第四节 冷锻模具设计	579
第五节 冷锻件生产实例	590
参考文献	592
第二章 温锻	593
第一节 温锻的特点及温度选择	593

第二节 温锻的准备	597	参考文献	645
第三节 温锻变形力	599	第五章 粉末锻造	647
第四节 温锻模具	602	第一节 粉末锻造的特点、分类及 应用	647
第五节 温锻产品的质量	606	第二节 预成形坯的变形与致密	650
第六节 温锻的应用实例	610	第三节 粉末锻造时金属粉末的选择	653
参考文献	617	第四节 预成形坯的设计与成形	656
第三章 内高压成形	618	第五节 预成形坯的锻造	660
第一节 内高压成形的原理、特点和 应用	618	第六节 典型件的粉末锻造工艺及力学 性能	663
第二节 适用材料和管材	620	第七节 粉末热等静压和粉末喷射 锻造	669
第三节 失效形式和主要工艺参数的 确定	621	参考文献	671
第四节 模具结构和润滑	624	第六章 固-液态加工	673
第五节 内高压成形设备	625	第一节 工艺特点、分类及适用范围	673
第六节 典型零件内高压成形	627	第二节 成形用模具	678
参考文献	632	第三节 成形用设备	681
第四章 等温锻造与超塑锻造	633	第四节 制件质量及控制	685
第一节 等温锻造与超塑锻造的特点 及应用范围	633	第五节 应用实例	692
第二节 等温锻造与超塑锻造的材 料及工艺规范	634	参考文献	696
第三节 等温锻造与超塑锻造的变形 力计算及设备选择	639	第七章 特种成形技术的发展与 展望	697
第四节 等温锻造与超塑锻造的摩擦 与润滑	640	第一节 概述	697
第五节 等温锻造与超塑锻造的工艺 与应用	640	第二节 材料智能化制备与成形加工 技术	698
第六节 等温锻造与超塑锻造的工艺 实例	643	第三节 微成形	701
		第四节 粉末注射成形技术	707
		参考文献	709
		第六篇 回转成形	
概述	712	第一节 楔横轧工艺参数确定	748
第一章 辊锻	713	第二节 楔横轧模具设计	750
第一节 辊锻原理、特点和用途	713	参考文献	756
第二节 辊锻的变形机理	714	第三章 孔型斜轧	757
第三节 辊锻工艺参数的确定	716	第一节 斜轧原理、特点和用途	757
第四节 辊锻模具设计	720	第二节 斜轧的应变与应力场	758
第五节 辊锻力能参数的确定	736	第三节 斜轧工艺参数的确定	768
参考文献	739	第四节 模具设计	770
第二章 楔横轧	740	参考文献	777
第一节 楔横轧原理、特点和用途	740	第四章 轧环	778
第二节 楔横轧变形机理	741	第一节 轧环原理、特点和用途	778

第二节 轧环的变形机理	779	参考文献	819
第三节 轧环工艺参数的确定	782	第六章 径向锻造	820
第四节 轧环用毛坯和模具的设计	785	第一节 径向锻造的原理、特点和用途	820
第五节 轧环力能参数的确定	794	第二节 径向锻造的变形过程	824
参考文献	796	第三节 径向锻造工艺过程参数的确定	826
第五章 摆辗	797	第四节 径向锻造的锤头、夹爪和芯轴的设计	829
第一节 摆辗原理、特点和用途	797	第五节 径向锻造力能参数的确定	833
第二节 摆辗的变形机理	798	参考文献	836
第三节 摆辗工艺参数的确定	800		
第四节 摆辗模具的设计	803		
第五节 摆辗力能参数的确定	812		
第六节 摆辗成形举例	813		
第七篇 锻件的精整、热处理及质量控制			
概述	838	第四章 锻件和坯料的清理	934
第一章 切边与冲连皮	839	第一节 滚筒清理	935
第一节 切边与冲连皮的方法	839	第二节 喷丸(砂)清理	936
第二节 简单切边模与冲连皮模	840	第三节 抛丸清理	940
第三节 级进模	857	第四节 光饰	948
第四节 复合模	857	第五节 酸洗	951
第二章 精压与校正	866	第六节 热坯料的清理	961
第一节 精压	866	第七节 局部表面缺陷的清理	963
第二节 校正	877	参考文献	966
参考文献	884	第五章 锻件质量检验与控制	967
第三章 锻件的冷却和热处理	885	第一节 锻件缺陷的主要特征及其产生原因	967
第一节 锻件的冷却	885	第二节 锻件质量检验内容及方法	973
第二节 锻件的热处理	888	第三节 锻件的质量控制	985
第三节 锻件的余热处理	928		
参考文献	933		
第八篇 锻造环境保护及安全			
概述	992	第六节 锻造生产中有害废水的来源与治理	1027
第一章 锻造环境保护	993	参考文献	1030
第一节 锻造生产的振动检测与分析	993	第二章 锻造安全技术	1032
第二节 冲击性锻造设备的减振与隔振技术	999	第一节 系统安全分析方法与评价	1032
第三节 锻造生产中的噪声及降噪技术	1007	第二节 锻造车间安全生产主要对策及一般准则	1036
第四节 锻造生产中的烟尘及防治技术	1017	第三节 自由锻造安全生产技术	1039
第五节 锻造生产中有害气体来源及其防治	1025	第四节 模锻安全生产技术	1041
		参考文献	1042

第九篇 锻造过程的数值模拟与优化及锻模的 CAD/CAM

概述	1043	第三节 基于数值模拟的锻造工艺优化设计的基本步骤	1072
第一章 锻造过程的刚粘塑性有限元分析	1044	第四节 基于数值模拟的金属锻造工艺优化设计及实例	1075
第一节 引言	1044	参考文献	1081
第二节 有限元的基本概念	1045	第三章 锻模 CAD/CAM	1083
第三节 刚塑性有限元法	1052	第一节 锻模 CAD/CAM 概论	1083
第四节 刚塑性有限元法在金属体积成形中的应用实例	1055	第二节 零件造型及锻件输入	1091
参考文献	1065	第三节 利用成组技术建立锻模 CAD/CAM 系统的方法	1096
第二章 锻造工艺优化设计	1066	第四节 锻模 CAD/CAM 系统	1100
第一节 锻造工艺优化的意义	1066	参考文献	1105
第二节 锻造工艺优化常用的数学优化方法	1066		

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。

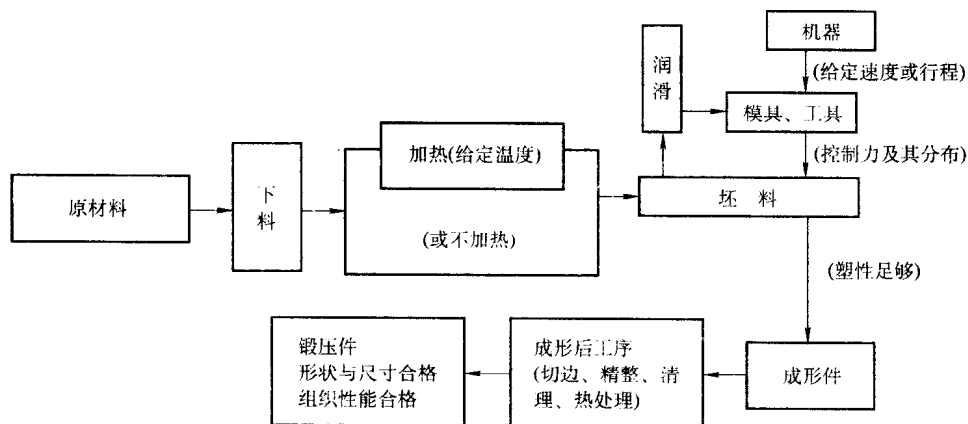


图1 塑性加工过程的基本环节

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。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),有些采用顶镦(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

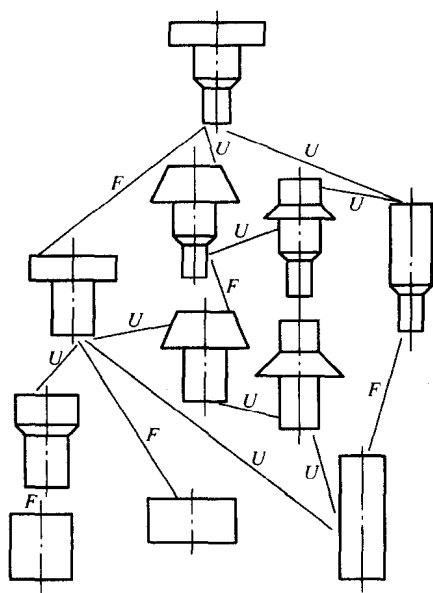


图2 阶梯轴多工位冷锻工艺

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,又有多种规格的锻料;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

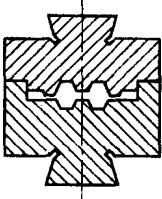
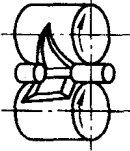
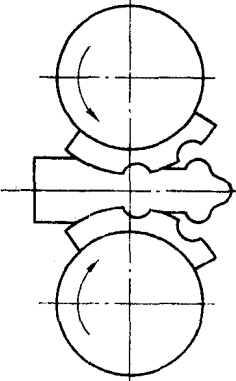
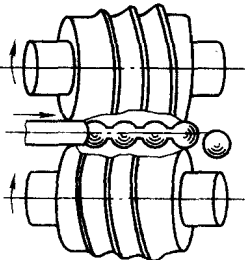
模锻按成形温度可以分为以下几种，见表 1-1-2。

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
普通模锻 	模具相对于坯料作直线往复运动	横轧 	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
辊锻 	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	斜轧 	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