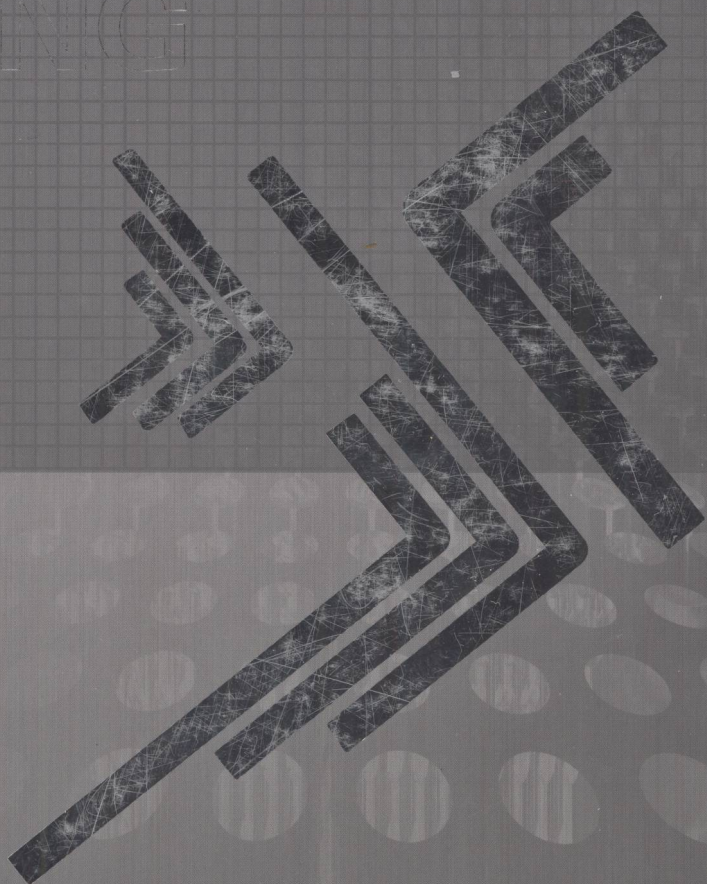




金属塑性成形手册下

胡正寰 夏巨谔 主编

JINSHU
SUXING
CHENGXING
SHOUCE



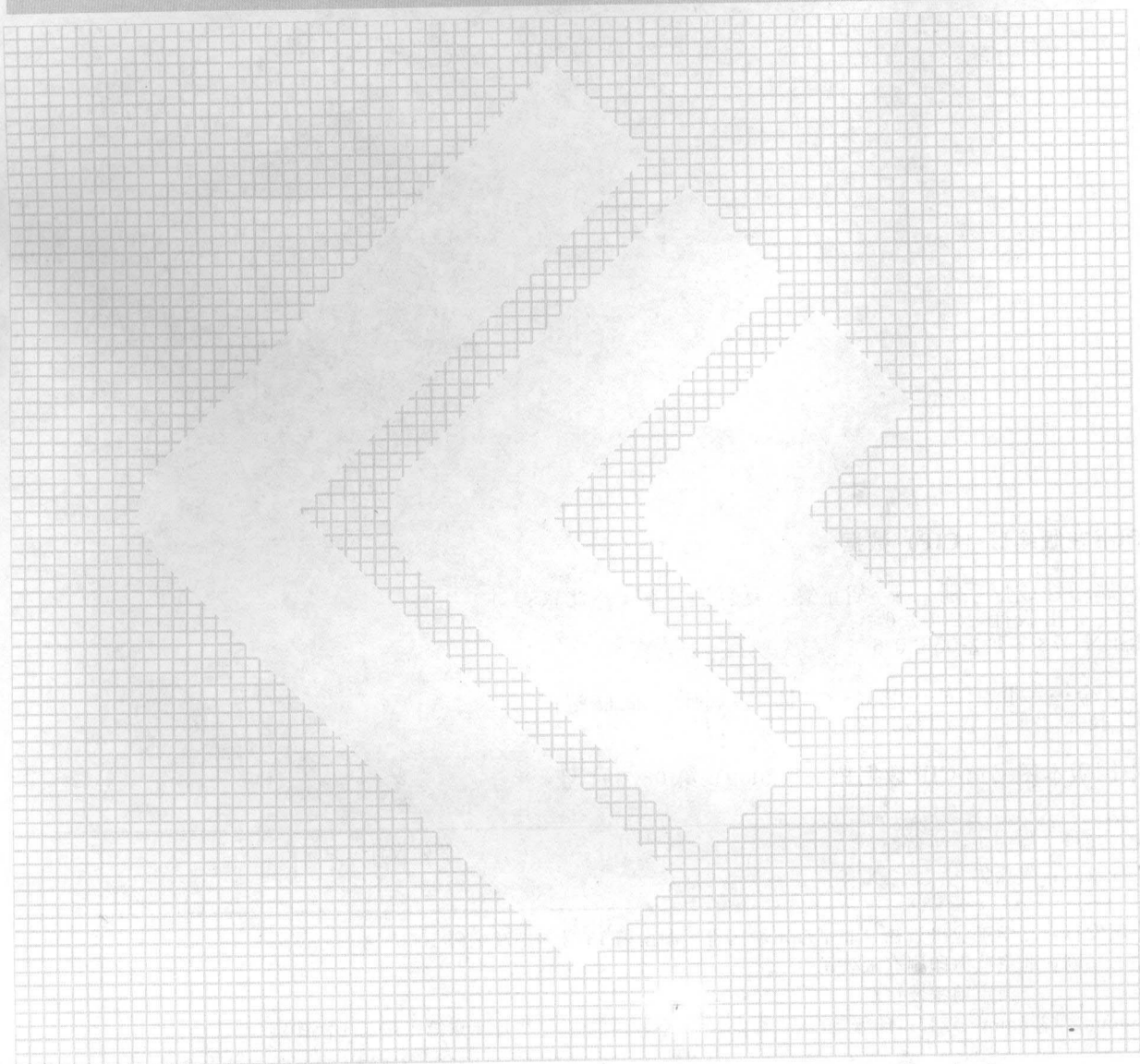
化学工业出版社



金属塑性成形手册

[下]

胡正寰 夏巨谟 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《金属塑性成形手册》是塑性成形专业科学、实用、先进的技术工具书，内容包括锻造成形、板料冲压成形、板型管轧制成形、零件轧制成形、特种锻造成形、板管特种成形、型材挤压成形、塑性成形 CAD/CAM 和塑性成形质量控制与检测等。本书以材料的塑性成形工艺为主，以工模具设计及关键设备的应用为辅；以目前生产中普遍使用的锻造与冲压工艺及主要的模具设计方法为基础，向塑性成形新工艺、新模具及新设备延伸。本书全面系统地反映了我国塑性成形技术的发展及取得的成就和经验，介绍了国内外先进技术，反映了当代材料锻造与冲压技术水平。

本书可供制造业和材料工程中从事锻造、冲压的技术人员参考查阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属塑性成形手册. 下/胡正寰, 夏巨湛主编. —北京:
化学工业出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-122-05320-6

I. 金… II. ①胡…②夏… III. 金属压力加工-塑性
变形-技术手册 IV. TG3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057694 号

责任编辑: 周国庆 王清颢
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京蓝海印刷有限公司
装 订: 三河市前程装订厂
880mm×1230mm 1/16 印张 50 字数 2313 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 150.00 元

版权所有 违者必究

前言

材料塑性成形加工行业是制造行业的主要组成部分，对国民经济的发展有重要作用。材料的锻造与冲压，是汽车、飞机、造船、军工、钢铁、电力工程、农机、家电、装备制造业等支柱产业，也是当代材料工程和先进制造技术的重要内容。中国已成为世界锻件和冲压件生产的第一大国，2004年锻件与冲压件产量已达到2000多万吨。但同时也面临着对锻件与冲压件生产的技术水平、质量、能耗、环保等方面的严峻挑战。中国的锻造与冲压工业要向世界先进水平看齐，变“锻造大国”为“锻造强国”，这也是我国广大从事塑性成形技术与生产的工作者所面临的紧迫而艰巨的任务。本书的编写和出版，正好适应了这种形势发展的需要。

本书是我国迄今为止覆盖面最宽、内容最新的材料塑性成形专业工具书。内容包括概论、锻造成形、板料冲压成形、板型管轧制成形、零件轧制成形、特种锻造成形、板管特种成形、型材挤压成形、塑性成形CAD/CAM和塑性成形质量控制与检测等10篇约400万字。参加这部著作编写的胡正寰和夏巨谌统稿合成。参加的主要单位有北京科技大学、华中科技大学、长春一汽锻造有限公司、东风汽车公司锻造厂、湖北汽车集团公司、哈尔滨工业大学、吉林大学、西北工业大学、武汉理工大学、太原重机学院、南昌大学、南昌航空工业学院等。历时3年多完成编写工作。各篇主编如下。

第1篇 概论	夏巨谌教授 张金教授
第2篇 锻造成形	夏巨谌教授 郭会光教授
第3篇 板料冲压成形	杨合教授 华林教授 刘郁丽教授
第4篇 板型管轧制成形	张杰教授 杨海波教授 施东成教授 陈南宁教授
第5篇 零件轧制成形	胡正寰院士 华林教授
第6篇 特种锻造	王高潮教授
第7篇 板管特种成形	李明哲教授 蔡中义教授
第8篇 型材挤压成形	夏巨谌教授 闫洪教授
第9篇 塑性成形CAD/CAM	李志刚教授
第10篇 塑性成形质量控制与检测	吕炎教授

本书在整体设计上是“立足全局，反映共性，突出重点，实用便查”。在具体编写上是以材料的塑性成形工艺为主，以工模具设计及关键设备的应用为辅；以目前生产中普遍使用的锻造与冲压工艺及主要的模具设计方法为基础，向塑性成形新工艺新模具及新设备延伸。本书全面系统地反映了我国塑性成形技术的发展及取得的成就和经验，介绍了国内外的先进塑性成形技术，具有“科学性，先进性和实用性。”本书主要供从事制造业和材料工程的科学技术人员使用，也可以供研究人员，管理人员和高等院校师生参考。

感谢中国机械工程学会、中国材料研究学会对本书编写工作的指导与大力支持。由于编写时间紧迫和编者水平所限，书中难免有疏漏与不当之处，敬请读者指正并提出宝贵意见。

胡正寰 夏巨谌

编辑委员会^①

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇 栾恩杰
王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镛

主任：路甬祥

副主任：李成功（常务） 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国
潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东

总编辑：李骏带

秘书长：黄远东（兼）

委员（按姓氏笔画排列）：

丁 辛	丁传贤	干 勇	于月光	才鸿年	马世宁	马冲先	马济民	马眷荣
马福康	王占国	王务同	王尔德	王永岩	王亚军	王至尧	王克光	王克俭
王高潮	王淀佐	王琦安	王新林	王德志	方禹之	尹志民	邓 炬	左铁钊
左铁镛	石力开	石春山	卢世刚	叶小玲	叶光斗	田志凌	田荣璋	史耀武
冯 涤	冯 稷	冯春祥	宁远涛	邢建东	师昌绪	吕 炎	吕反修	同继锋
曲文生	朱万森	朱如瑾	朱绍华	朱道本	仲维卓	任家烈	华 林	刘 明
刘正才	刘世参	刘占阳	刘邦津	刘作信	刘其贤	刘郁丽	刘治国	刘建章
刘晋春	刘清友	刘献明	齐从谦	闫 洪	江东亮	许祖泽	许祖彦	阳明书
孙 坚	孙加林	杜善义	杨 合	杨 武	杨乃宾	杨才福	杨鸣波	杨忠民
杨晓华	杨海波	杨焕文	杨德仁	李 强	李 晋	李 楠	李长久	李龙土
李成功	李光福	李志刚	李明哲	李明辉	李学勇	李虹霞	李恒德	李贺军
李海军	李骏带	李鹤林	严东生	连克仁	肖亚庆	吴 行	吴 昆	吴 诚
吴永声	吴伟仁	吴性良	吴科如	吴恩熙	吴谊群	吴智华	吴德馨	何光远
何季麟	佟晓辉	邱 勇	邱冠周	邱德仁	余金中	邹广田	汪明朴	沈 真
沈万慈	沈德忠	宋天虎	张 力	张 扬	张 华	张 杰	张 金	张 峥
张子龙	张用宾	张立同	张永俐	张吉龙	张旭初	张佐光	张晋远	张康侯
张道中	张新民	陆燕荪	陈 琦	陈文哲	陈世朴	陈立泉	陈运远	陈志良
陈国钧	陈治明	陈南宁	陈祝年	陈晓慈	陈涌海	陈祥宝	陈超志	林慧国
欧阳世翥	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周 廉	周伟斌	周国庆
郑有蚪	柳玉起	柳百成	胡玉亭	胡正寰	南策文	赵万生	赵有文	赵国群
赵金榜	赵梓森	赵慕岳	钟群鹏	施东成	施剑林	姜不居	姜晚霞	祖荣祥
姚 燕	贺守华	耿 林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨湛	夏志华	俸培宗
徐匡迪	徐廷献	徐建军	徐祖耀	徐家文	徐跃明	徐滨士	殷树言	翁宇庆
郭会光	郭景杰	高瑞萍	栾恩杰	唐仁政	唐汝钧	唐志玉	唐昌世	益小苏
涂善东	黄 勇	黄天佑	黄玉东	黄本立	黄远东	黄伯云	黄校先	黄培云
曹勇家	曹湘洪	龚七一	崔 健	康喜范	梁 齐	梁 军	梁志杰	屠海令
隋同波	韩凤麟	彭艳萍	葛子干	董 瀚	董汉山	董首山	董祖珏	董湘怀
蒋力培	蒋建平	傅绍云	储君浩	谢邦互	谢里阳	谢建新	郝国强	雷天民
路甬祥	解应龙	解思深	雍歧龙	蔡中义	漆 玄	谭 抚	熊守美	靳常青
樊东黎	黎文献	颜永年	颜鸣皋	潘正安	潘叶金	潘振甦	潘健生	燕 瑛
戴国强								

① 本书是原《中国材料工程大典》其中的一卷。《中国材料工程大典》由中国机械工程学会、中国材料研究学会组织编写，中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会及中国复合材料学会参加组织编写。本编辑委员会即为《中国材料工程大典》编委会。

目 录

第5篇 零件轧制成形	1
第1章 辊锻	4
1 概述	4
2 辊锻变形的基本原理	4
2.1 辊锻变形区及其几何参数	4
2.2 咬入条件	5
2.3 辊锻时金属的延伸	5
2.4 辊锻时金属的纵向流动及前滑与后滑	6
2.5 辊锻过程中的宽展	7
2.6 辊锻力及辊锻力矩	9
3 辊锻工艺与模具设计	11
3.1 辊锻模结构与材料	11
3.2 制坯辊锻工艺	12
3.3 成形辊锻工艺	18
4 辊锻机	20
4.1 辊锻机的工作原理	20
4.2 辊锻机的类型	20
4.3 辊锻机的技术参数	21
4.4 辊锻机的选用	23
5 辊锻工艺应用实例	23
5.1 连杆辊锻	23
5.2 叶片成形辊锻	25
5.3 汽车前轴辊锻	26
5.4 汽车变截面板簧片精密辊锻	28
第2章 楔横轧	29
1 概述	29
1.1 工作原理	29
1.2 工艺特点	29
1.3 国内外发展与应用简况	29
1.4 工艺流程与车间布置	30
2 轧制理论	31
2.1 运动原理	31
2.2 轧件旋转条件	32
2.3 展宽角	34
2.4 轧齐理论	36
3 变形机理	37
3.1 有限元数值模拟	37
3.2 轧件上的应变场	38
3.3 轧件的变形	40
3.4 轧件上的应力场	43
3.5 轧件心部缺陷产生机理	44
4 轧制压力与力矩	48
4.1 模具与轧件接触面积	48
4.2 数值计算数据	49
4.3 轧制实测数据	51
4.4 影响因素综合	52
5 模具设计	52
5.1 模具设计的一般原则	52
5.2 工艺参数的确定	54
5.3 对称轴类件的模具设计	55
5.4 非对称轴类件的模具设计	56
6 机械设备	57
6.1 楔横轧机的基本类型	57
6.2 楔横轧机的总体配置	59
第3章 孔型斜轧	61
1 概述	61
1.1 工作原理	61
1.2 工艺特点	61
1.3 国内外发展与应用简况	61
1.4 工艺流程与车间布置	62
2 轧制原理	63
2.1 斜轧回转体运动原理	63
2.2 斜轧螺旋体运动原理	64
2.3 辊形曲面	65
3 变形机理	66
3.1 有限元数值模拟	66
3.2 轧件上的应变场	67
3.3 轧件上的应力场	68
3.4 轧件心部疏松机理	69
4 轧制压力与力矩	71
4.1 轧辊与轧件的接触面积	71
4.2 接触面上的单位压力	72
4.3 轧制力的方向	74
4.4 轧制压力与力矩的实验	74
5 模具设计	75
5.1 模具设计一般原则	75
5.2 孔型参数确定	76
5.3 孔型设计方法	77
5.4 模具设计实例	80
6 机械设备	81
6.1 斜轧机的基本类型	81
6.2 穿孔式斜轧机	82
第4章 环件轧制	89
1 环件轧制成形原理	90
1.1 环件轧制几何学	90
1.2 环件轧制静力学	90
1.3 环件轧制运动学	92
2 变形主要特征和工艺参数	95
2.1 矩形截面环件轧制变形规律	95
2.2 环件轧制工艺参数	96
3 环件轧制力能参数	98
3.1 环件闭式轧制力能计算	98
3.2 环件开式轧制力能计算	98
3.3 阶梯孔环件闭式轧制力能计算	98
3.4 力能计算举例	98
3.5 环件轧制力和力矩影响因素	99
4 环件轧制工艺与模具设计	100
4.1 下料	100
4.2 加热	100
4.3 环件锻件和毛坯设计	101
4.4 环件轧制模具设计和调试	104
4.5 环件轧制缺陷和工艺调试	106
5 环件轧制设备	108
5.1 立式轧环机	108
5.2 卧式轧环机	109
5.3 精密冷轧环机	110
6 环件轧制工艺实例	110

6.1 环件轧制生产线	110	6.5 径向锻造锻件常见工艺缺陷 及其预防措施	150
6.2 典型环件轧制工艺流程	110	第7章 旋压	151
第5章 摆动辗压	112	1 概述	151
1 摆动辗压的特点、分类及应用	112	1.1 分类和特点	151
1.1 摆动辗压的原理	112	1.2 用途	155
1.2 摆动辗压的基本特点	112	2 成形原理(变薄旋压)	156
1.3 圆柱形件摆动辗压变形的规律	112	2.1 主体运动	156
1.4 摆动辗压的分类	113	2.2 变形规律	156
1.5 摆动辗压的适用范围	114	3 坯料	158
2 摆动辗压主要的工艺参数	114	3.1 可旋材料	158
2.1 摆角 γ	114	3.2 普旋坯料	158
2.2 每转进给量 S	114	3.3 剪切旋压坯料	159
2.3 摆头转速 n	115	3.4 流动旋压坯料	160
2.4 摆头轨迹	115	4 工艺参数	160
3 摆动辗压的力能参数	116	4.1 剪切旋压	160
3.1 摆动辗压接触面积率 λ	116	4.2 流动旋压	161
3.2 摆动辗力	116	5 力能参数	162
3.3 摆头电动机功率	116	5.1 力学分析	162
4 摆动辗压的模具设计	117	5.2 旋压力计算	162
4.1 摆动辗模具工况	117	6 工艺装备	163
4.2 摆动辗成形件图的设计	117	6.1 芯模	164
4.3 摆动辗模具设计	117	6.2 旋轮	165
5 摆动辗压设备	120	6.3 尾顶	166
5.1 摆动辗压设备的工作原理	120	6.4 靠模	166
5.2 摆动辗压设备的分类	120	6.5 加热装置	166
5.3 摆动辗压设备的主要参数	121	6.6 冷却与润滑	167
5.4 摆动辗压设备的结构	121	7 旋压机	167
6 摆动辗压模具材料	123	7.1 特点	167
6.1 热摆动辗模具材料	123	7.2 结构组成	167
6.2 冷摆动辗模具材料	125	7.3 设备类别	167
7 典型零件的摆动辗工艺	126	7.4 设备能力	170
7.1 冷摆动辗成形件	126	8 旋压件的质量控制	170
7.2 温、热摆动辗成形件	128	8.1 组织结构	170
第6章 径向锻造	130	8.2 力学性能	170
1 径向锻造的工艺原理、用途和优缺点	130	8.3 尺寸精度	170
1.1 径向锻造的工艺原理	130	8.4 缺陷及消除措施	171
1.2 径向锻造工艺的用途	130	9 旋压实例	172
1.3 径向锻造工艺的优缺点	130	9.1 $\phi 356$ mm 封头普旋	172
2 径向锻造设备	131	9.2 筒形件变薄旋压实例	172
2.1 径向锻造机的分类	131	9.3 锥形件变薄旋压实例	174
2.2 径向锻造机的构造	131	参考文献	176
3 径向锻造的力能参数	137	第6篇 特种锻造	177
3.1 径向锻造机锻造变形力的计算	137	第1章 挤压	179
3.2 锤头行程、运动速度和加速度	138	1 挤压理论	180
3.3 径向锻造的变形功	139	1.1 挤压时金属流动	180
3.4 径向锻造机电动机功率计算	139	1.2 挤压时的附加应力	181
4 径向锻造的主要工艺参数	139	1.3 挤压时的外摩擦	181
4.1 径向锻造的主要工艺参数	139	1.4 挤压力的计算	181
4.2 径向锻造的其他工艺参数	140	2 挤压工艺	189
4.3 工艺卡片的编制	140	2.1 冷挤压工艺	189
5 径向锻造的锤头、夹爪和芯棒的设计	140	2.2 温挤压工艺	193
5.1 锤头	140	2.3 热挤压工艺	194
5.2 夹爪	143	3 挤压模具	195
5.3 芯棒	143	3.1 挤压模具的要求及特点	195
6 径向锻造工艺的设计及其实例	144	3.2 挤压模具的典型模具结构	196
6.1 径向锻造工艺的设计	144	3.3 挤压模具工作部分设计	196
6.2 坯料	146	4 挤压实例	199
6.3 变形过程	147		
6.4 工艺实例	147		

4.1 汽车活塞销冷挤压	199	2.4 超塑性模锻的锻件图设计	250
4.2 轴承套圈的温挤压	200	2.5 超塑性模锻的模具结构及材料	250
第2章 冷锻	202	2.6 润滑	252
1 冷锻工艺	202	3 等温模锻	252
1.1 冷锻工艺过程和力的计算	202	3.1 等温锻造的基本特点和发展动向	252
1.2 典型零件冷锻工艺	204	3.2 等温模锻的工艺装备	252
2 自动冷锻机模具	205	3.3 等温模锻对润滑防护剂的特殊要求	255
2.1 冷锻模具的分类	205	3.4 典型件的等温模锻工艺	255
2.2 自动冷锻机模具结构	207	第5章 液态模锻	256
2.3 自动冷锻机模膛尺寸	208	1 液态模锻的工艺原理	256
3 杆状零件冷锻模具设计	209	1.1 工艺原理	256
3.1 冲头设计	209	1.2 液态模锻的工艺流程	256
3.2 凹模设计	211	2 液态模锻成形与凝固特点	256
3.3 切边模具设计	216	3 液态模锻工艺对设备的要求	257
4 螺母类零件冷锻模具设计	217	3.1 液锻工艺对设备的要求	257
4.1 锻球模具设计	217	3.2 液锻设备的选择依据	257
4.2 锻六角模具设计	218	3.3 液锻用成形设备	257
4.3 冲孔模具设计	220	3.4 液态模锻辅助设备	259
5 通用模具设计	221	4 液态模锻工艺方法分类	260
5.1 切料模具设计	221	4.1 直接加压法（直接液态模锻）	260
5.2 滚压工具设计	222	4.2 间接加压法	261
第3章 温锻	224	4.3 间接挤注法	261
1 温锻成形材料及其加热	224	5 液态模锻锻件分类与设计要点	261
1.1 温锻的特点	224	5.1 液锻件分类	261
1.2 温锻成形材料	224	5.2 成形方案与分模位置	262
1.3 温锻温度的选择	224	5.3 加工余量与锻件公差	262
1.4 加热方式的选择	227	5.4 脱模斜度	264
2 温锻的准备	228	5.5 圆角半径	265
2.1 毛坯的准备	228	5.6 液锻件的收缩率	265
2.2 坯料加热、模具预热和坯料润滑	228	5.7 液锻件图设计	265
2.3 温锻变形力的确定	229	6 液态模锻模具结构设计	266
3 温锻模具的设计与模具材料	230	6.1 液锻模具设计的基本要求	266
3.1 温锻模具的要求	230	6.2 液锻模具设计步骤	266
3.2 温锻模具结构	230	6.3 模具结构分类	266
3.3 凸凹模工作部分的设计	231	6.4 凹模与凹模套设计	267
3.4 温锻模具工作部分材料的选择	231	6.5 凸模与挤压头设计	269
3.5 温锻模具的冷却方法	232	6.6 型芯与镶块设计	270
4 温锻产品质量控制	232	6.7 卸件装置设计	270
4.1 温锻产品的尺寸精度	232	6.8 顶件装置设计	270
4.2 宏观尺寸变化规律	232	6.9 导向装置设计	270
4.3 温锻产品的实用公差	233	6.10 排气槽与溢料槽设计	270
4.4 温锻产品的表面粗糙度	233	6.11 模板与凸模固定板设计	271
4.5 温锻产品的显微组织变化	233	6.12 侧分型机构设计	271
4.6 温锻产品的力学性能	233	6.13 模具预热与冷却	272
5 温锻的应用实例	235	7 液锻模具材料与热处理	273
5.1 碳素结构钢的温锻	235	7.1 液锻模具的性能要求	273
5.2 合金结构钢的温锻	235	7.2 液锻模工作零件的常用材料及热处理要求	273
5.3 轴承钢的温锻	236	7.3 液锻模其他零件材料及热处理要求	273
5.4 不锈钢的温锻	237	7.4 液锻用模具材料的选用原则	273
第4章 超塑性模锻与等温模锻	238	8 液锻模具技术要求	274
1 金属超塑性理论基础	238	9 液态模锻主要工艺因素及控制	275
1.1 金属的塑性、超塑性	238	9.1 金属液的质量	275
1.2 超塑性变形的力学特征	239	9.2 浇注温度	275
1.3 超塑性变形的机理	242	9.3 模具预热温度	276
1.4 超塑性变形时的组织结构及性能	244	9.4 成形压力（比压）	276
2 超塑性模锻	245	9.5 保压时间	276
2.1 超塑性体积成形的特点	245	10 液锻模具用（润滑剂）涂料	276
2.2 常用超塑性材料	245	10.1 液态模锻模具用涂料的作用	276
2.3 典型件的超塑性模锻工艺	248		

10.2 液态模具用涂料的性能要求	276	3.2 模具设计	355
10.3 液锻模具常用涂料及喷涂工艺	276	4 超塑性成形设备	357
参考文献	278	4.1 基本要求	357
第7篇 板管特种成形	279	4.2 基本组成	357
第1章 板管的介质成形	281	4.3 国外超塑性成形设备	357
1 薄板件的介质成形	281	5 超塑成形/扩散连接技术	358
1.1 薄板件的弹性介质成形工艺	281	5.1 钣金件的扩散连接	358
1.2 薄板件的液体介质成形工艺	283	5.2 组合工艺 (SPF/DB) 的工艺方法与典型结构	361
2 管件的介质成形	288	5.3 超塑成形/扩散连接工艺的应用	362
2.1 管件的弹性介质成形工艺	288	第5章 爆炸成形	366
2.2 管件的液体介质成形工艺及工装设计	293	1 工艺参数选择	366
第2章 板料无模成形	300	1.1 炸药种类	366
1 多点成形技术基础	301	1.2 药包形状	366
1.1 基本原理	301	1.3 药位	367
1.2 基本成形方式	301	1.4 药量	367
1.3 成形缺陷的产生与控制	302	1.5 传压介质	368
2 多点成形工艺	305	1.6 水深	368
2.1 一次成形	306	2 爆炸成形装置与模具设计	368
2.2 分段成形	306	2.1 传压介质的盛装装置	368
2.3 多道次成形	307	2.2 爆炸成形用模具	368
2.4 反复成形	308	3 工艺分析与实例	370
2.5 闭环成形	309	3.1 爆炸拉深	370
2.6 薄板多点成形	309	3.2 爆炸胀形	375
3 多点成形设备	309	3.3 其他形式的爆炸成形	377
3.1 基本体单元及调形	310	4 爆炸成形安全守则	380
3.2 多点成形主机	311	第6章 电磁成形	381
3.3 CAD/CAM 软件	311	1 工艺基础	381
3.4 设备规格与应用	314	1.1 基本原理	381
4 增量成形技术	315	1.2 电磁成形材料	381
4.1 基本原理	315	1.3 电磁成形的坯料	383
4.2 成形分析与实验	316	1.4 线圈	383
4.3 成形设备	317	1.5 集磁器	385
第3章 旋压成形	320	1.6 模具及驱动片	385
1 普通旋压	320	2 连接工艺	386
1.1 普通旋压的应用	320	2.1 连接方式	386
1.2 普通旋压的工艺参数	320	2.2 管-杆连接的影响因素	387
1.3 普通旋压工装设计	325	2.3 管-管连接的影响因素	388
1.4 旋压力的计算	327	2.4 连接方式及应用	388
1.5 特殊旋压方式	328	3 管坯成形	389
2 变薄旋压	329	3.1 管坯的变形	389
2.1 变薄旋压的应用	329	3.2 胀径成形	390
2.2 变薄旋压的工艺参数	331	3.3 缩径成形	393
2.3 变薄旋压的工装设计	335	3.4 管状坯料的分离工序	396
2.4 变形力	336	4 板坯成形	396
2.5 特殊旋压方式	337	4.1 平板坯料成形	397
第4章 超塑成形	344	4.2 冲裁	400
1 超塑性成形技术基础	344	4.3 框架零件成形实例	401
1.1 定义、特征及特点	344	5 电磁成形设备	402
1.2 超塑性机理及变形的影响因素	345	5.1 设备组成及分类	402
1.3 超塑性金属和合金	347	5.2 国内外的电磁成形设备	403
2 薄板的超塑性成形工艺	348	参考文献	405
2.1 超塑性成形方法	348	第8篇 型材挤压成形	407
2.2 超塑性成形的工艺参数	350	第1章 铝合金型材	409
2.3 超塑性成形的结构工艺性	352	1 铝合金型材的分类	409
2.4 零件壁厚不均匀的控制方法	353	1.1 分类原则	409
2.5 超塑性成形工艺过程	354	1.2 分类方法	409
3 超塑性成形模具	355	2 铝合金型材断面的设计方法	415
3.1 模具材料	355		

2.1 断面形状的复杂性	415	3.2 模具的外形尺寸及其标准化	445
2.2 挤压系数	416	4 型材挤压模具的设计方法及技术要求	446
2.3 断面大小	416	4.1 模具设计方法	446
2.4 型材壁厚	416	4.2 模具设计的技术要求	447
2.5 包围空间面积的设计	416	5 模具结构设计	447
2.6 直角间的圆角半径	417	5.1 实心型材挤压模具设计	447
2.7 断面尺寸公差	417	5.2 空心型材挤压模具设计	449
3 挤压型材常用铝合金及特性	417	5.3 空心型材平面分流组合挤压模设计	452
3.1 常用铝合金化学成分	417	5.4 阶段变断面型材挤压模设计	456
3.2 常用铝合金分类	418	5.5 渐变断面型材挤压模设计	458
3.3 常用铝合金及其特性	418	5.6 扁宽带筋壁板型材挤压模设计	460
4 变形铝合金的挤压性能	420	5.7 民用建筑型材挤压模设计	462
第2章 铝合金型材挤压工艺基础及成形过程		第5章 型材挤压凹模优化设计	466
数值模拟	422	1 基于传统方法的优化设计	466
1 铝合金型材挤压时的金属变形规律	422	1.1 改变模孔工作带的几何形状与尺寸	466
1.1 正挤压时金属变形的基本阶段	422	1.2 阻碍角的辅助作用	468
1.2 正挤压实心件的金属流动情况	422	1.3 采用促流角来均衡金属流速	469
1.3 正挤压空心件的金属流动情况	422	1.4 使型材各部分流动速度均匀的其他方法	470
2 影响型材挤压变形的主要因素分析	423	2 现代优化设计方法中的两个关键问题	470
2.1 接触摩擦与润滑	423	2.1 目标参数的确定	470
2.2 凹模角度及形状	423	2.2 约束条件的确定	470
2.3 模孔的排列	423	3 型材挤压模工作带长度设计计算的数学建模	470
2.4 表面状态	424	3.1 型材挤压时金属流动规律研究	471
2.5 加热温度	424	3.2 挤压模工作带长度设计计算的数学建模	471
2.6 合金性能	424	3.3 实验验证	472
3 型材挤压力的计算	424	4 U形铝型材挤压模具结构工艺参数	
3.1 别尔林公式	424	优化设计	472
3.2 古布金公式	425	4.1 U形型材挤压模具结构优化设计数学	
3.3 经验公式	425	模型的建立	472
4 铝合金型材挤压过程有限元数值模拟	425	4.2 U形型材挤压过程的有限元模拟	472
4.1 塑性成形有限元基本理论	425	4.3 神经网络模型的建立与训练	473
4.2 三维有限元模拟中关键技术点的处理	425	4.4 采用RPGA为优化算法的优化步骤	474
4.3 铝合金型材非等温挤压过程模拟实例	426	4.5 优化结果的有限元仿真	474
4.4 工艺参数对铝型材挤压变形规律的影响	429	5 三维铝型材挤压模多参数优化	475
5 型材挤压过程工艺参数优化模型	432	5.1 人工神经网络建模	476
5.1 集数值仿真、人工神经网络和遗传算法为一体的参数优化模型	433	5.2 遗传算法优化	477
5.2 非对称角铝型材挤压成形工艺参数优化实例	433	第6章 镁合金型材挤压成形工艺	478
5.3 非对称角铝型材挤压成形过程的数值仿真	434	1 镁合金的性能特点	478
第3章 铝合金型材挤压工艺	436	2 镁合金锻造与挤压工艺特点	478
1 挤压坯料的选择	436	2.1 坯料准备	478
2 挤压温度与速度的确定	436	2.2 锻造与挤压前加热	478
2.1 挤压温度范围的确定	436	2.3 锻造与挤压	479
2.2 挤压时的速度条件	437	2.4 清理和热处理	480
3 挤压方法的选择	438	3 镁合金型材挤压成形工艺	480
3.1 等截面实心型材的挤压方法	438	3.1 实验材料及设备	480
3.2 等截面空心型材的挤压方法	438	3.2 挤压工艺参数确定	480
3.3 阶段变断面实心型材的挤压方法	439	3.3 实验研究结果与应用	481
3.4 渐变断面实心型材的挤压方法	440	参考文献	482
4 润滑剂的选用	440	第9篇 塑性成形 CAD/CAM	483
5 铝合金型材的生产工艺流程	441	第1章 概论	485
第4章 铝合金型材挤压模具设计	442	1 CAD/CAM的基本概念	485
1 铝型材挤压工模具的工作条件	442	1.1 概念	485
2 型材挤压模具的分类及组装方式	443	1.2 计算机在设计和制造中的辅助作用	485
2.1 型材挤压模具的分类	443	1.3 CAD与CAM的集成	486
2.2 型材挤压模具的组装方式	443	2 模具CAD/CAM技术的应用	486
3 型材模具的典型结构参数及外形标准化	444	2.1 CAD/CAM技术在模具行业的应用状况	486
3.1 挤压模结构参数的设计	445	2.2 模具CAD/CAM的优越性	487
		2.3 模具CAD/CAM的特点	487

3 传统的模具设计制造与模具 CAD/CAM 的比较	488	5.2 曲面	528
3.1 传统的模具设计与制造	488	第 6 章 产品数据管理技术	531
3.2 集成的模具设计制造过程	488	1 产品数据管理技术概述	531
4 建立 CAD/CAM 系统的过程与方法	488	1.1 PDM 技术的产生	531
第 2 章 模具 CAD/CAM 系统的组成	491	1.2 PDM 的定义	531
1 模具 CAD/CAM 系统的硬件	491	1.3 PDM 系统的体系结构	531
1.1 主机	491	2 PDM 系统的功能	531
1.2 外部存储器	491	2.1 数据与文档管理	532
1.3 输入设备	492	2.2 过程与工作流程管理	532
1.4 输出设备	492	2.3 产品结构与管理	533
2 计算机网络	494	2.4 零部件分类库管理	533
3 模具 CAD/CAM 系统的软件	495	2.5 项目管理	533
3.1 系统软件	495	2.6 其他功能	533
3.2 支撑软件	495	3 PDM 系统的实施	533
3.3 应用软件	497	3.1 PDM 实施的内容	533
第 3 章 数据处理方法	498	3.2 PDM 实施的基本步骤	534
1 常见的数据结构	498	3.3 PDM 的信息建模	534
1.1 数据结构分类	498	3.4 成功实施 PDM 应注意的几个问题	535
1.2 常用数据结构的分析	499	4 基于 PDM 的系统集成	536
2 数表的处理方法	500	4.1 基于 PDM 实现应用集成的三个层次	536
2.1 以数组的形式存放数表	501	4.2 模具 CAD/CAPP/CAM 与 PDM 的集成	536
2.2 以数据文件形式存放数表	501	第 7 章 优化设计方法	538
2.3 函数插值方法	502	1 概论	538
2.4 交互处理方法	502	1.1 设计变量	538
3 线图的程序化	503	1.2 目标函数	538
4 建立经验公式的方法	503	1.3 约束条件	538
4.1 处理数表的回归分析方法	503	1.4 优化设计的数学模型	539
4.2 多项式拟合	504	2 常用优化设计方法	540
4.3 线性拟合与可化为线性拟合的问题	504	3 多维无约束优化方法	541
第 4 章 CAD/CAM 的图形学基础	505	3.1 多维无约束优化问题的直接解法	541
1 图形的变换	505	3.2 多维无约束优化问题的间接解法	543
1.1 二维图形的变换	505	4 有约束优化方法	545
1.2 三维图形的变换	506	4.1 有约束优化问题的直接解法	545
1.3 透视变换	508	4.2 有约束优化问题的间接解法	547
2 交互技术	509	5 组合挤压凹模的优化设计	549
2.1 交互输入技术	509	5.1 组合凹模的类型和受力特点	549
2.2 用户界面设计	510	5.2 组合凹模的有限元优化方法	550
第 5 章 CAD/CAM 中的几何建模技术	512	6 预成形模具形状的优化设计	551
1 几何造型的基本概念	512	6.1 刚(黏)塑性有限元基本方程	552
1.1 概念	512	6.2 设计变量与目标函数	552
1.2 几何造型的方法	512	6.3 灵敏度分析	553
2 形体的表示模式	513	6.4 预成形模具的优化设计过程	553
2.1 体素调用表示	513	6.5 少无鼓形圆柱体锻粗过程优化实例	554
2.2 空间点列表示	513	第 8 章 数控加工编程技术	556
2.3 单元分解表示	513	1 概述	556
2.4 扫描变换表示	514	1.1 数控加工的基本概念	556
2.5 构造体素表示 (CSG)	514	1.2 数控机床的组成、分类及发展	558
2.6 边界表示 (B-Reps)	514	2 数控加工程序的编制内容与过程	559
2.7 混合模式	515	2.1 数控加工程序编制的内容	559
3 参数化特征建模	515	2.2 数控加工程序的编制过程	560
3.1 特征建模技术	515	3 数控自动编程技术的发展	561
3.2 参数化技术	518	4 数控编程中的工艺处理	562
3.3 参数化特征造型的基本方法	520	4.1 工序、工步的划分和顺序安排	562
4 装配建模技术	520	4.2 零件装夹方法的确定与夹具选择	562
4.1 装配建模的基本概念	520	4.3 对刀点和换刀点的确定	562
4.2 装配建模的一般方法	522	4.4 进给路径的规划	563
4.3 基于功能组件的模具装配设计方法	522	4.5 刀具选择	564
5 曲线与曲面	523	4.6 切削用量的确定	565
5.1 曲线	523	4.7 程编误差及其控制	565

5 数控加工程序的编制方法	566	10.2 覆盖件冲压工艺的数据库管理系统	607
5.1 零件编程的通用标准	566	10.3 基于成组技术的检索式工艺设计	609
5.2 点位、直线控制系统的程序编制	570	10.4 基于特征的冲压工序详细设计	610
5.3 轮廓控制系统的程序编制	570	11 覆盖件模具结构设计	613
6 APT 语言	572	11.1 基于典型结构的覆盖件模具结构 二维设计	613
6.1 几何定义语句	572	11.2 基于特征的覆盖件模具结构三维设计	614
6.2 刀具运动语句	573	第 10 章 注射模 CAD	615
6.3 后置处理程序语句	575	1 注射模 CAD/CAE/CAM 概述	615
6.4 辅助语句	576	1.1 注射模 CAD/CAE/CAM 的发展	615
6.5 APT 语言应用实例	576	1.2 注射模 CAD/CAM 系统的工作流程	615
7 数控线切割加工程序的编制	577	2 注射模 CAD 的内容及特点	616
7.1 数控线切割编程中的工艺处理	577	2.1 注射模 CAD 的内容	616
7.2 数控线切割加工的程序编制	579	2.2 注射模 CAD 的特点	617
8 冲裁模线切割的自动编程	580	2.3 注射模 CAD 系统的结构	617
8.1 生成金属丝运动轨迹	580	3 注射模总体结构的设计	618
8.2 穿孔孔和起割点的自动选取	580	3.1 柔性化的模具总体结构设计	618
8.3 自动编程过程	581	3.2 基于知识的模具总体结构设计	618
9 Mastercam 软件	581	4 标准模架选用及编码	619
9.1 系统特点概述	581	5 镶拼式模具结构设计	620
9.2 系统的运行环境和流程	582	6 成型零部件设计	621
9.3 系统界面及功能	582	6.1 成型零部件尺寸计算	621
9.4 用 Mastercam 编制 NC 加工程序的示例	583	6.2 分型面的确定	621
9.5 注塑模具 CAM 示例	585	6.3 成型腔壁厚计算	622
第 9 章 冲压模具 CAD	587	6.4 凸、凹模模型的生成	622
1 冲裁模系统的结构与功能	587	7 流道系统的设计	623
1.1 冲裁模 CAD/CAM 系统的结构	587	7.1 流道系统的结构	623
1.2 系统的功能与流程	587	7.2 流道系统的设计计算	624
2 冲裁件工艺性判断	588	8 冷却系统设计	626
2.1 判别模型的建立	588	9 注射流动模拟	626
2.2 处理图形的几种算法	589	9.1 一维流动模拟	627
2.3 工艺性的自动判别过程	589	9.2 二维流动模拟	628
3 毛坯优化排样	590	9.3 三维流动模拟	628
3.1 毛坯排样问题的数学描述	590	10 冷却过程分析	629
3.2 多边形法	590	10.1 冷却分析的数学模型	630
3.3 高度函数法	591	10.2 一维冷却分析	630
3.4 平行线分割纵横平移法	592	10.3 二维冷却分析	630
4 冲裁工艺方案的设计	594	10.4 三维冷却分析	631
4.1 模具类型的选择	594	第 11 章 锻模 CAD	632
4.2 连续模的工步设计	595	1 利用成组技术建立锻模 CAD 系统的方法	632
5 冲裁模结构设计	596	2 锻件与毛坯形状复杂性的定量计算	634
5.1 冲裁模结构设计子系统的功能结构	596	3 锻件毛坯形状优化设计方法	634
5.2 总装图设计	596	3.1 目标函数与优化方法	634
5.3 凹模和凸模设计	597	3.2 优化设计实例	636
5.4 顶杆的优化布置	598	4 锻造载荷和应力的计算	638
6 级进模 CAD 的内容与系统结构	600	4.1 轴对称横向流动	638
6.1 级进模的设计内容与过程	600	4.2 轴对称轴向流动	639
6.2 级进模 CAD 系统的结构	600	4.3 平面应变、横向流动	639
6.3 系统的功能模块	601	4.4 平面应变、纵向流动形成筋	640
7 基于特征的连续冲压工艺设计	601	5 轴对称件锻模 CAD 系统	641
7.1 钣金零件的单元特征模型	601	5.1 轴对称件锻模 CAD/CAM 系统的组成	641
7.2 基于特征的冲压工艺设计方法	603	5.2 轴对称锻件几何形状的输入	641
8 级进模结构与零件 CAD	604	5.3 锻件设计	641
8.1 级进模结构的装配模型	604	5.4 锻模设计	642
8.2 总体结构及零件设计	605	6 长杆类锻模 CAD 系统	642
9 覆盖件模具 CAD 系统的结构	606	6.1 长杆类锻模 CAD/CAM 系统的总体结构	642
9.1 冲压工艺设计	606	6.2 模锻工艺设计	642
9.2 模具结构设计	606	6.3 拔长型槽的设计	643
10 覆盖件冲压工艺 CAPP	607	6.4 滚挤型槽的设计	645
10.1 冲压工艺 CAPP 系统的总体结构	607		

6.5 型槽的布置	646	7.2 形成裂纹的组织分析	693
7 飞边槽尺寸和飞边金属消耗的计算	646	7.3 锻造裂纹的鉴别与防止产生裂纹的原则措施	694
7.1 飞边槽桥部尺寸的算法	646	8 空腔	694
7.2 飞边金属消耗的算法	647	9 压缩失稳	695
8 预锻型槽的设计	647	第2章 各类金属材料塑性成形件的常见缺陷与 控制措施	697
8.1 预锻型槽的设计规则	647	1 莱氏体高合金工具钢塑性成形件的常见缺陷与 控制措施	697
8.2 预锻型槽截面的设计方法	648	2 不锈钢酸钢塑性成形件的常见缺陷与控制措施	702
第12章 CAD/CAM 的新发展	650	2.1 铁素体不锈钢	702
1 计算机辅助技术的集成	650	2.2 奥氏体(包括奥氏体-铁素体)不锈钢	704
1.1 产品建模技术	650	2.3 马氏体(包括马氏体-铁素体)不锈钢	706
1.2 CAD/CAM 系统中的产品数据交换	650	3 高温合金塑性成形件的常见缺陷与控制措施	707
1.3 CAD/CAM 的集成方法	652	4 铝合金塑性成形件的常见缺陷与控制措施	710
2 协同设计	653	5 镁合金塑性成形件的常见缺陷与控制措施	715
2.1 协同设计的概念	653	6 铜合金塑性成形件的常见缺陷与控制措施	719
2.2 协同设计的关键技术	653	7 钛合金塑性成形件的常见缺陷与控制措施	723
2.3 系统的结构与管理	654	第3章 各主要塑性成形工序中的常见缺陷与 控制措施	732
2.4 模具协同设计系统	655	1 镦粗过程中的常见缺陷与控制措施	732
3 并行工程	656	2 拔长过程中的常见缺陷与控制措施	733
3.1 并行工程的发展背景	656	2.1 矩形截面坯料的拔长	733
3.2 并行工程的概念	657	2.2 圆截面坯料的拔长	735
3.3 并行工程的支持系统	657	2.3 空心件拔长	736
3.4 并行工程的过程建模	659	3 冲孔过程中的常见缺陷与控制措施	736
3.5 并行开发过程的分析	660	4 扩孔过程中的常见缺陷与控制措施	737
3.6 并行工程的组织管理	661	5 模锻过程中的常见缺陷与控制措施	738
3.7 模具制造并行工程	662	6 挤压过程中的常见缺陷与控制措施	740
4 虚拟制造	663	7 摆动辗压过程中的常见缺陷与控制措施	742
4.1 虚拟制造的定义	663	8 楔横轧过程中的常见缺陷与控制措施	745
4.2 虚拟制造的分类	664	9 冲压成形中的常见缺陷与控制措施	746
4.3 虚拟现实及其实现	664	9.1 裂纹	746
4.4 虚拟制造的体系结构	665	9.2 起皱	747
4.5 虚拟制造中的关键技术	666	第4章 大型锻件的常见缺陷与控制措施	749
4.6 虚拟制造的应用	667	1 大型锻件的常见缺陷及其防治措施	749
参考文献	668	2 大型锻件生产过程的质量控制	753
第10篇 塑性成形质量控制与检测	671	3 大型锻件质量分析与控制举例	754
第1章 影响塑性成形件质量的几个主要问题	673	3.1 转子类锻件的质量分析与控制	754
1 晶粒度	673	3.2 护环锻件的质量分析与控制	756
1.1 晶粒大小对性能的影响	673	3.3 叶轮白点的防治	757
1.2 影响晶粒大小的一些主要因素	674	第5章 锻件质量检验的内容和方法	759
1.3 细化晶粒的途径	677	1 锻件质量检验的内容	759
2 过热、过烧	677	2 锻件质量检验的方法	761
2.1 析出相引起的稳定过热	678	3 探查锻件内部裂纹的两种无损检测方法	762
2.2 晶粒遗传引起的稳定过热	679	3.1 射线探伤法	762
2.3 过热对力学性能的影响	681	3.2 超声波探伤法	762
3 金属纤维组织(流线)	681	3.3 射线探伤法和超声波探伤法比较	763
3.1 纤维组织对性能的影响	681	4 探查锻件表面缺陷的三种无损检测方法	764
3.2 流线分布的原则和实例	683	4.1 磁粉探伤法	764
3.3 关于流线的控制	683	4.2 液体渗透探伤法	764
4 脱碳	684	4.3 涡流探伤法	765
4.1 脱碳对钢性能的影响	685	4.4 磁粉探伤法、液体渗透探伤法和涡流探伤法 的比较	765
4.2 影响钢脱碳的因素	685	第6章 锻件生产过程的质量控制	766
4.3 防止脱碳的措施	686	1 锻件生产准备阶段的质量控制	766
5 白点	686	1.1 锻件图的质量控制	766
5.1 白点对钢的力学性能的影响	686	1.2 锻造工艺规程的质量控制	767
5.2 关于白点形成的原因	687	1.3 锻造工装模具图的质量控制	767
5.3 防止白点产生的措施	687		
6 折叠	688		
7 裂纹	691		
7.1 形成裂纹的力学分析	692		

1.4 锻模制造的质量控制	768	4.1 加热工艺不当常产生的缺陷	771
2 锻造原材料的质量控制	768	4.2 加热炉应保持良好的工作状态	771
2.1 原材料的主要缺陷及其引起的锻件缺陷	768	4.3 加热工序的质量控制	772
2.2 锻造原材料订货时的要求	769	5 锻造工序的质量控制	772
2.3 原材料入厂复验	769	5.1 锻造工艺不当常产生的缺陷	772
2.4 原材料的标记方法	769	5.2 锻造工序的质量控制	773
3 备料过程中的质量控制	770	6 锻件热处理过程的质量控制	773
3.1 备料不当产生的缺陷及其对锻件的影响	770	7 锻件清理过程的质量控制	774
3.2 下料工序的质量控制	770	参考文献	775
4 加热过程中的质量控制	771		

第 5 篇

零件轧制成形

■ 主 编 胡正寰 华 林

■ 编 写 黄良驹 胡正寰 张 巍

刘晋平 华 林 程培元

胡亚民 赵云豪

零件轧制成形是指用轧制方法成形机器零件的工艺与技术。

零件轧制与传统的冶金轧制都属轧制范畴,但轧制的产品不同。冶金轧制主要生产等截面的产品,例如用量很大的板材、型材与管材;零件轧制主要生产变截面的产品,例如汽车半轴、轴承钢球,即机器零件与金属制品等。所以,零件轧制是冶金轧制的发展、延伸与深度加工,故又称为特种轧制。

零件轧制与传统的锻造都属零件塑性成形范畴,但成形方式不同。锻造为整体,断续成形;零件轧制为局部、连续成形。

零件轧制在国际上又称为回转成形,因为工件是在回转中成形零件的。回转可以是工件,也可以是工具,还可以是工具加工件。由于工件在回转中成形,所以成形是局部、连续的。

零件轧制与锻造成形零件比较有如下优点:

1) 工作载荷小。由于是局部成形,工作载荷只有模锻的几分之一,结果是设备重量与投资都大幅度下降,而模具寿命近10倍增加。

2) 生产效率高。由于是连续成形,生产效率一般提高几倍到10多倍。

3) 产品质量好。成形产品尺寸精度高,具有显著的节材效果;成形零件的金属纤维流线好,产品性能好。

4) 工作环境好。没有锻造的冲击、噪声,进出料容易实现自动化。

零件轧制与锻造比较的缺点是:通用性差,设备与模具

是专用的,并且多数模具的设计、制造及工艺调整都比较复杂,所以零件轧制适合生产批量大的零件,例如汽车、拖拉机、摩托车、自行车等上的零件。

不同的回转成形工艺,其生产的产品形状各异,但综合起来产品类型比较齐全。下面将各种回转成形工艺的产品类型加以说明。

辊锻:生产轴向变截面件,可以是长杆类,也可以是板片类零件。典型产品有犁铧、锄头、钢叉、十字镐及叶片等;为模锻制坯的有汽车曲轴和前轴,五金工具等。

横轧:生产圆柱直齿轮、斜齿轮、锥齿轮、链轮及各种螺旋件等零件。

楔横轧:生产各种台阶轴零件。典型产品有汽车及拖拉机变速箱中的各种轴、油泵齿轮轴、发动机凸轮轴等,为模锻制坯的发动机连杆、五金工具等。

斜轧:生产各种回转体零件。典型产品有轴承钢球及滚子、球磨钢球、自行车钢球及丝杠等,为模锻制坯的球头吊环、柴油机摇臂等。

辗环:生产各种环类零件。典型产品有火车车轮及轮箍、轴承内外环、喷气发动机上的环形件等。

摆辗:生产各种盘类零件。典型产品有汽车拖拉机上的齿轮坯、铣刀片、盘形弹簧片、扬声器导磁体、汽车半轴等。

旋压:生产各种筒形零件。典型产品有灯罩、压力锅体、气瓶、导弹壳体及封头等。

径向锻造:生产各种实心与空心台阶轴零件。典型产品有缝纫机针、汽车转向直接杆、车床主轴等。