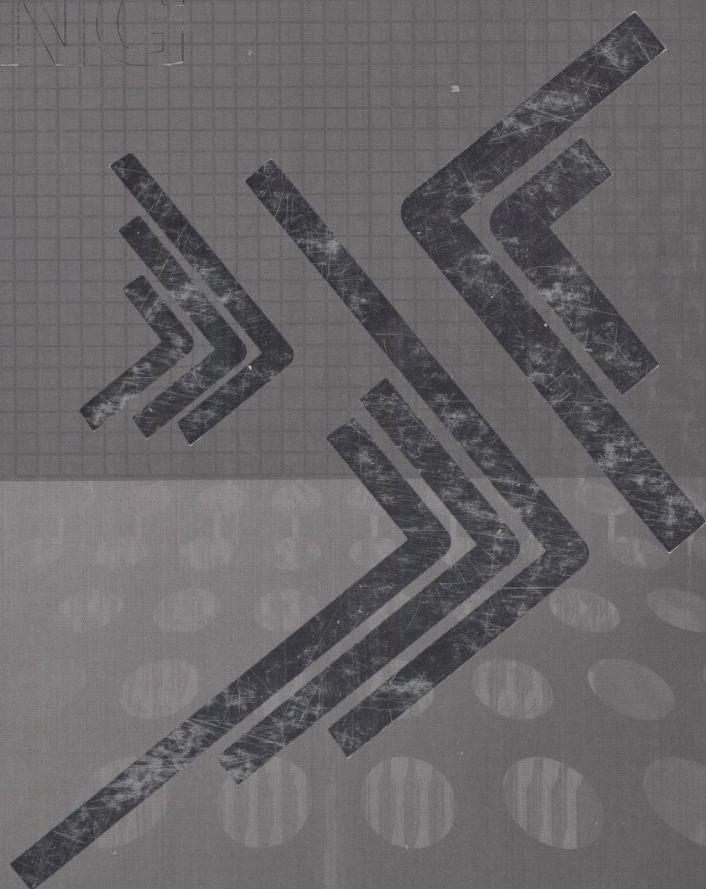




# 金属塑性成形手册 [上]

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

[上]

胡正寰 夏巨谔 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. 上/胡正寰, 夏巨谟主编. —北京:  
化学工业出版社, 2009. 6  
ISBN 978-7-122-05321-3

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 057695 号

---

责任编辑: 周国庆 王清颢  
责任校对: 顾淑云

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 44¼ 字数 2065 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: 140.00 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谔统稿合成。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	夏巨谔教授 张金教授
第2篇 锻造成形	夏巨谔教授 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	夏巨谔教授 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 夏巨谔

## 编辑委员会<sup>①</sup>

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
欧阳世翁	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周廉	周伟斌	周国庆
郑有焯	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	姜晓霞	祖荣祥
姚燕	贺守华	耿林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨谏	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	鄢国强	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	燕琪
戴国强								

<sup>①</sup> 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1篇 概论	1	1 胎模锻造特点及应用	58
1 材料塑性成形的特点	3	1.1 胎模锻造特点	58
2 材料塑性成形在国民经济中的地位和作用	3	1.2 胎模锻的应用	58
3 中国塑性成形加工技术发展概况及成就	4	2 胎膜锻件分类及胎模锻件图设计	59
3.1 古代塑性成形加工技术概况	4	2.1 胎模锻件分类	59
3.2 建国以来前30余年的发展概况及成就	4	2.2 胎模锻件图的设计	60
3.3 改革开放20余年的发展概况及成就	5	3 胎模锻工艺	62
4 中国锻压技术与国外先进锻压技术的比较	9	3.1 镦粗	62
5 21世纪材料塑性成形的发展趋势	11	3.2 拔长	63
6 加入WTO后材料塑性成形发展的机遇与应对挑战的策略及措施	12	3.3 棒形	64
6.1 加入WTO后材料塑性成形发展的机遇	12	3.4 扣形	64
6.2 材料塑性成形面临的挑战	12	3.5 冲孔与扩孔	65
6.3 应对挑战的策略与措施	13	3.6 弯曲	65
参考文献	16	3.7 翻边	66
		3.8 劈叉	66
		3.9 挤压	66
		3.10 焖形	67
		3.11 冲切	68
第2篇 锻造成形	17	4 胎模设计	69
第1章 自由锻造工艺及其装备	22	4.1 制坯整形模	69
1 自由锻造工艺	22	4.2 成形模	70
1.1 自由锻造的基本工序	22	4.3 切边冲孔模	73
1.2 自由锻工艺过程的制订	27	5 胎模锻设备的选用	74
2 锻造原材料及其加热	31	5.1 设备能力的选择要点	74
2.1 钢锭与钢材	31	5.2 设备吨位的计算	74
2.2 算料与下料	33	6 自由锻锤固定胎模锻造的特点	75
2.3 坯料加热及加热规范	36	7 胎模锻实例	76
3 大型锻件的锻造特点	39	第3章 锤类设备上模锻	79
3.1 大型锻件的生产特点	39	1 模锻锤上模锻特点及应用范围	79
3.2 大型锻造的工艺特点	39	2 锻件分类及模锻工步选择	79
3.3 提高大型锻件质量的工艺措施	40	3 模锻锤上模锻工艺规程的制订	81
4 合金钢的锻造特点	41	3.1 锻件图的设计	81
4.1 高合金钢的锻造特点	41	3.2 选择模锻工艺	88
4.2 莱氏体高合金工具钢的锻造	41	3.3 确定模锻锤吨位	89
4.3 不锈钢的锻造	43	3.4 坯料计算	89
4.4 高温合金的锻造	44	4 终锻模膛设计	89
5 有色金属及合金的锻造特点	45	4.1 热锻件图的确定	89
5.1 铝合金锻造	45	4.2 飞边槽的确定	90
5.2 镁合金锻造	47	4.3 终锻模膛的绘制及尺寸标注	91
5.3 铜合金锻造	48	5 预锻模膛的设计	91
5.4 钛合金锻造	49	5.1 预锻模膛的采用原则	91
6 锻件锻后的冷却和热处理	52	5.2 采用预锻模膛带来的不利因素	92
6.1 锻件的冷却	52	5.3 预锻模膛的设计原则	92
6.2 锻件的热处理	52	5.4 预锻模膛的尺寸标注	95
7 锻造工具的特点和应用	53	6 钳口	95
7.1 锻造工具的分类	53	6.1 钳口的作用	95
7.2 锻造工装选用及设计原则	53	6.2 钳口尺寸的确定	95
8 锻造设备的选用	53	7 拔长模膛	96
8.1 选择主要锻压设备的原则	53	7.1 拔长模膛的作用与型式	96
8.2 自由锻锤吨位的概略估算	53	7.2 拔长模膛的结构	96
8.3 自由锻造水压机的选定	53	7.3 拔长模尺寸的确定	96
9 自由锻造工艺举例	53	7.4 拔长平台的设计	97
9.1 齿轮锻造工艺规程的制订	53	8 滚压模膛设计	97
9.2 600MW汽轮机转子锻造工艺规程	54	8.1 滚压模膛的作用与型式	97
第2章 胎模锻	58		

8.2 滚压模膛的尺寸确定 .....	98	3.2 工步图设计 .....	136
9 压肩模膛设计 .....	100	4 坯料选择 .....	139
9.1 压肩模膛的型式 .....	100	4.1 计算坯料体积 $V_m$ .....	139
9.2 压肩模膛的尺寸设计 .....	100	4.2 计算坯料尺寸 .....	139
10 弯曲模膛 .....	100	4.3 坯料选定 .....	139
10.1 弯曲模膛纵向截面设计 .....	100	5 模锻力计算及吨位的确定 .....	139
10.2 弯曲模膛横截面形状的设计 .....	101	5.1 开式模锻算力公式之一 .....	139
10.3 坯料的定位 .....	101	5.2 开式模锻算力公式之二 .....	139
10.4 弯曲模膛宽度 .....	101	5.3 挤压力 .....	139
10.5 弯曲模膛高度方向的位置 .....	101	5.4 设备选择 .....	139
11 切断模膛 .....	101	6 锻模模架结构型式 .....	140
12 墩粗台与压扁台 .....	102	6.1 模架的型式 .....	140
12.1 墩粗台的作用与尺寸设计 .....	102	6.2 模架结构 .....	141
12.2 墩粗台在模块上的位置 .....	102	7 锻模结构与模膛设计 .....	143
12.3 压扁台 .....	103	7.1 锻模结构 .....	143
13 锻模结构 .....	103	7.2 模膛设计 .....	144
13.1 模膛的排列 .....	103	8 实例 .....	150
13.2 错移力的平衡与锁扣设计 .....	105	8.1 转向节模锻 .....	150
13.3 模膛的壁厚 .....	107	8.2 轮毂模锻 .....	153
13.4 锻模承击面 .....	108	8.3 曲轴模锻 .....	154
14 模块尺寸的确定 .....	108	<b>第6章 平锻机上模锻</b> .....	162
15 锻模的一般要素 .....	108	1 模锻特点及应用范围 .....	162
16 锻模的加工精度及粗糙度要求 .....	109	1.1 平锻机模锻过程 .....	162
17 锻模材料及热处理 .....	110	1.2 主要锻造工序和应用范围 .....	162
18 典型锻件锤模锻示例 .....	110	1.3 平锻机的模锻特点 .....	162
19 高速锤上闭式模锻 .....	111	2 平锻件分类及其工艺特点 .....	163
19.1 高速锤闭式模锻的特点及模锻工艺制定 .....	111	3 锻件图的绘制 .....	164
19.2 高速锤模锻的典型锻件及其基本 工艺参数 .....	112	3.1 确定分模面形式和位置 .....	164
19.3 模具设计和制造特点 .....	113	3.2 锻件的机械加工余量和公差 .....	164
19.4 一些典型锻件的高速闭式模锻工艺 .....	113	3.3 模锻斜度和圆角半径 .....	164
<b>第4章 螺旋压力机上模锻</b> .....	117	3.4 锻件技术条件 .....	165
1 螺旋压力机模锻特点及应用范围 .....	117	4 墩锻力计算和平锻机规格选择 .....	165
1.1 螺旋压力机模锻的特点 .....	117	4.1 墩锻力的计算公式 .....	165
1.2 应用范围 .....	117	4.2 平锻机的规格选择 .....	166
2 锻件分类和锻件图设计 .....	117	4.3 举例 .....	166
3 模锻工步的选择 .....	119	5 墩粗(聚集)规则 .....	169
4 开式锻模设计 .....	120	5.1 自由聚集规则 .....	169
4.1 飞边槽 .....	120	5.2 凹模内聚集规则 .....	169
4.2 模膛布置 .....	121	5.3 锥形模膛聚集规则 .....	169
4.3 模壁厚度的确定 .....	121	5.4 管料墩粗(聚集)规则 .....	170
5 闭式锻模设计 .....	121	6 平锻工步设计 .....	171
5.1 凸、凹模间隙的确定 .....	121	6.1 坯料直径选择及其长度确定 .....	171
5.2 凸模尺寸的确定 .....	121	6.2 终锻工步设计 .....	172
6 成组锻模的设计 .....	122	6.3 预锻工步设计 .....	172
7 锻模结构设计 .....	123	6.4 聚集工步设计 .....	174
8 螺旋压力机 .....	124	6.5 管料的聚集工步设计 .....	174
8.1 螺旋压力机的种类及其性能特点 .....	124	7 平锻模结构 .....	176
8.2 螺旋压力机的主要技术参数及吨位选择 .....	126	7.1 模具的总体结构 .....	176
9 实例 .....	127	7.2 凸模夹持器的设计 .....	176
<b>第5章 热模锻压力机上模锻</b> .....	130	7.3 凹模体 .....	177
1 模锻特点与应用 .....	130	8 平锻模膛和凸模、凹模镶块 .....	179
1.1 模锻特点 .....	130	8.1 终锻凹模和凸模 .....	179
1.2 应用范围 .....	130	8.2 预锻凸模和凹模 .....	180
2 锻件分类与锻件图设计特点 .....	130	8.3 聚集凸模和凹模 .....	180
2.1 锻件分类 .....	130	8.4 夹紧模膛设计 .....	181
2.2 锻件图设计特点 .....	130	8.5 卡细模膛设计 .....	181
3 变形工步及工步图设计 .....	130	8.6 扩径模膛设计 .....	181
3.1 变形工步 .....	130	8.7 穿孔凹模和凸模 .....	182
		8.8 切边模膛设计 .....	184

8.9 切断模膛设计 .....	184	1 精密模锻工艺的特点及应用 .....	250
8.10 管料聚集凹模和凸模 .....	185	1.1 精密模锻工艺的特点 .....	250
9 典型锻件的工艺及其模具设计 .....	186	1.2 精密模锻工艺的应用 .....	250
9.1 一般设计程序 .....	186	2 影响精密模锻件尺寸精度的主要因素 .....	251
9.2 转向摇臂轴平锻工艺及模具设计 .....	186	2.1 坯料体积的波动 .....	251
9.3 轮毂轴管锻件平锻工艺及模具设计 .....	187	2.2 模膛的尺寸精度和磨损 .....	251
10 平锻机热挤压工艺及模具设计 .....	188	2.3 模具温度和锻件温度的波动 .....	252
10.1 水平分模平锻机挤压工艺分析 .....	188	2.4 零件结构的工艺性 .....	252
10.2 挤压模结构及工作部分主要尺寸 .....	188	2.5 模具和锻件的弹性变形 .....	253
10.3 热挤压举例 .....	189	2.6 锻件高度尺寸的变化同各种影响因素的关系 .....	253
<b>第7章 闭式模锻</b> .....	192	3 各类锻件的精密模锻工艺方案分析 .....	253
1 闭式模锻的特点及应用 .....	192	3.1 齿轮类锻件 .....	253
1.1 闭式模锻的特点 .....	192	3.2 带有薄肋的锻件 .....	254
1.2 闭式模锻的应用 .....	192	3.3 带工字形断面复杂长轴类锻件 .....	254
2 闭式模锻件的分类及表示锻件复杂程度的参数 .....	193	3.4 形状复杂的锻件 .....	254
2.1 锻件的分类 .....	193	4 精密模锻模具设计特点 .....	254
2.2 表示锻件复杂程度的参数 .....	193	4.1 精密模锻模膛与精密模锻件的设计 .....	254
3 闭式模锻变形过程分析 .....	195	4.2 模膛尺寸计算 .....	255
3.1 墩粗式闭式模锻的变形过程 .....	195	4.3 模膛的尺寸公差和表面粗糙度 .....	256
3.2 墩粗压入式闭式模锻变形过程 .....	196	4.4 有深凹穴且形状复杂的模膛的布置 .....	256
3.3 侧向挤压模锻 .....	196	4.5 模具的导向装置 .....	256
4 闭式模锻变形力的计算 .....	197	4.6 模具的推出装置 .....	256
4.1 影响闭式模锻力的主要因素 .....	197	5 实例 .....	256
4.2 闭式模锻力的计算 .....	199	6 冷精密模锻的特点与应用 .....	257
5 闭式模锻工艺的制订 .....	204	6.1 传统冷精密模锻工艺的特点与应用 .....	257
5.1 锻件的工艺性分析 .....	204	6.2 冷精密模锻工艺的新进展 .....	258
5.2 锻件图的制订 .....	204	7 温精密模锻的特点与应用 .....	262
5.3 模锻工序及锻坯的设计 .....	205	7.1 温锻时加热温度与尺寸精度的关系 .....	263
5.4 主要的辅助工序及特点 .....	206	7.2 温精密模锻的应用实例 .....	263
6 闭式模锻设计 .....	207	8 多工序温冷复合精密模锻的特点及应用 .....	265
6.1 模具的类型 .....	207	9 多层杯筒形零件流动控制成形 .....	267
6.2 分流降压腔的设计 .....	208	10 闭式冷精密模锻模具及设备 .....	269
6.3 可分凹模模具设计要点及设计方法与步骤 .....	212	10.1 闭式冷精密模锻模具 .....	269
7 闭式模锻设备 .....	213	10.2 闭式冷精密模锻设备 .....	269
7.1 双动热模锻压力机 .....	213	参考文献 .....	271
7.2 中小件专用多向闭式模锻压力机 .....	215	<b>第3篇 板料冲压成形</b> .....	273
8 闭式模锻实例 .....	216	<b>第1章 冲压成形工艺基础</b> .....	275
8.1 模锻锤上整体凹模闭式模锻 .....	216	1 冲压成形工艺分类 .....	275
8.2 螺旋压力机上整体凹模闭式模锻 .....	217	2 冲压成形用原材料 .....	276
8.3 螺旋压力机上可分凹模模锻 .....	219	2.1 冲压常用板料规格与力学性能 .....	276
8.4 热模锻压力机上闭式模锻 .....	222	2.2 板料的冲压性能 .....	287
8.5 曲柄压力机用可分凹模模具设计及实例 .....	225	2.3 常用板料的冲压性能 .....	297
8.6 双动压力机可分凹模模锻 .....	229	2.4 冲压用新材料及其性能 .....	302
8.7 高速锤闭式模锻 .....	231	<b>第2章 冲裁</b> .....	305
<b>第8章 多向模锻</b> .....	237	1 冲裁机理 .....	305
1 多向模锻的特点及应用范围 .....	237	1.1 冲裁变形过程 .....	305
1.1 多向模锻的特点 .....	237	1.2 冲裁力-行程曲线 .....	305
1.2 多向模锻工艺的适用范围 .....	237	1.3 变形区受力状况和应力状态 .....	305
2 多向模锻工艺及金属流动分析 .....	238	1.4 冲裁件断面特征 .....	306
2.1 多向模锻工艺 .....	238	2 冲裁件的工艺性 .....	306
2.2 多向模锻中的金属流动分析 .....	240	2.1 冲裁件结构工艺性 .....	306
3 多向模锻力的计算 .....	240	2.2 冲裁件的精度与表面粗糙度和毛刺高度 .....	307
4 多向模锻件图设计 .....	241	3 冲裁间隙 .....	308
5 多向模锻模具设计 .....	243	3.1 间隙对冲裁过程的影响 .....	308
5.1 模具设计要点 .....	243	3.2 冲裁间隙分类 .....	310
5.2 模具结构设计 .....	243	3.3 确定冲裁间隙的方法 .....	311
6 多向模锻压力机 .....	246	3.4 常用间隙表 .....	311
7 多向模锻实例 .....	248		
<b>第9章 精密模锻</b> .....	250		



4	冲裁凸、凹模工作部分尺寸设计	313	6.3	顶件力和压料力	386
4.1	凸、凹模尺寸计算原则	313	6.4	弯曲设备选择	386
4.2	凸、凹模分开加工时其尺寸与公差确定	313	7	弯曲模结构设计	386
4.3	凸、凹模配合加工时其尺寸与公差确定	314	7.1	弯曲模设计要点	386
4.4	数控线切割编程时凸、凹模尺寸的确定	314	7.2	常见弯曲模结构介绍	388
5	冲裁力的计算	315	<b>第4章</b>	<b>拉深</b>	394
5.1	冲裁力的计算方法	315	1	拉深基本原理	394
5.2	减小冲裁力的方法	315	1.1	圆筒形件的拉深过程	394
5.3	卸料力、推件力和顶件力计算	315	1.2	拉深时毛坯的应力应变状态	395
6	材料利用率	316	1.3	凸缘变形区的应力分析	396
6.1	排样及材料的利用率	316	1.4	拉深起皱及防皱措施	397
6.2	搭边	318	1.5	拉断与极限拉深系数	399
6.3	条料宽度及导尺间距离的确定	319	2	拉深件的工艺性	400
7	冲裁模分类及典型结构	320	3	圆筒形件的拉深工序计算	401
7.1	落料模	320	3.1	修边余量的确定	401
7.2	冲孔模	321	3.2	毛坯尺寸计算	401
7.3	切边模	321	3.3	拉深系数和拉深次数	414
7.4	剖切模、切口模	323	4	带凸缘圆筒形件的拉深	418
7.5	复合冲裁模典型结构	323	4.1	拉深特点	418
7.6	连续冲裁模典型结构	324	4.2	拉深系数	418
8	冲裁模主要零件的设计及标准的选用	327	4.3	拉深方法	419
8.1	凸模及其固定方法	327	5	回转体阶梯形件的拉深	421
8.2	凹模及其固定方法	329	5.1	阶梯形件拉深次数的确定	421
8.3	模具定位零件及选用	332	5.2	阶梯形件拉深原则	421
8.4	卸料及出件装置	335	6	盒形件拉深	422
8.5	安装、夹持零件及标准模架的选择	337	6.1	盒形件的拉深特点	422
9	提高冲裁件质量和精度的方法	339	6.2	盒形件首次拉深成形极限	423
10	精密冲裁	340	6.3	盒形件毛坯尺寸计算	423
10.1	精冲机理	340	6.4	盒形件的工艺计算	425
10.2	精冲力的计算	343	6.5	盒形件拉深工序计算的新方法	430
10.3	精冲件结构工艺性	343	7	其他拉深方法	433
10.4	精冲复合工艺	345	7.1	反拉深	433
10.5	精冲件质量及影响因素	349	7.2	带料连续拉深	433
10.6	精冲材料及工艺润滑	353	7.3	变薄拉深	438
10.7	精冲模具	354	8	拉深力和拉深功的计算	439
10.8	精冲设备	364	8.1	拉深力的计算	439
<b>第3章</b>	<b>弯曲</b>	369	8.2	压床吨位的选择	441
1	弯曲变形分析	369	8.3	拉深功的计算	442
1.1	弯曲变形过程和特点	369	9	拉深模工作部分尺寸的确定	442
1.2	弯曲变形时应力应变状态	370	9.1	拉深凸凹模间隙确定	442
2	弯曲件的工艺性	370	9.2	拉深凸凹模圆角半径	443
2.1	最小相对弯曲半径	370	9.3	拉深凸凹模工作部分结构形状及尺寸	444
2.2	材料的纤维方向	371	10	拉深过程中的辅助工序	445
2.3	影响最小相对弯曲半径的因素	371	10.1	润滑	445
3	弯曲件展开尺寸计算	372	10.2	热处理	446
3.1	中性层位置	372	10.3	酸洗	446
3.2	展开长度计算	374	11	拉深件废品类型、产生原因及防止措施	447
4	弯曲件的回弹	378	12	拉深零件工序安排实例	447
4.1	回弹及影响回弹的因素	378	<b>第5章</b>	<b>成形</b>	452
4.2	回弹值的确定	379	1	胀形与翻边	452
4.3	防止回弹的措施	381	1.1	胀形	452
5	弯曲模工作部分尺寸计算	383	1.2	翻边	454
5.1	凸、凹模的圆角半径	383	2	曲面零件成形	463
5.2	凹模的工作深度	384	2.1	半球形件成形	463
5.3	凸、凹模的间隙	384	2.2	抛物形件成形	464
5.4	凹模工作部分尺寸计算及制造公差的确定	384	2.3	锥形件成形	465
6	弯曲力的计算	385	3	汽车覆盖件的冲压成形	469
6.1	自由弯曲时的弯曲力	385	3.1	汽车覆盖件材料	469
6.2	校正弯曲时的弯曲力	385	3.2	汽车覆盖件的成形特点及分类	472

3.3 覆盖件冲压成形的变形特点	474	2.1 小型型钢和棒材连轧生产的主要特点及其工艺过程	620
3.4 汽车覆盖件成形工艺	475	2.2 小型型钢和棒材连轧机的组成、类型及主要设备	621
3.5 拉深成形工艺设计	482	3 高速线材生产	625
3.6 汽车覆盖件成形模具的调试	490	3.1 高速线材生产发展概况	625
4 厚板成形	493	3.2 高速线材生产工艺	625
4.1 厚板零件成形工艺	494	3.3 高速线材轧机的组成、类型及主要设备	627
4.2 厚板零件热成形模具设计	499	4 切分轧制技术	630
4.3 缺陷的产生及防止	501	4.1 切分轧制技术的发展概况及其主要特点	630
5 其他成形方法	505	4.2 切分轧制技术的基本方法	631
5.1 缩口	505	4.3 切分轧制技术在型钢轧机上的应用	633
5.2 扩口	507	5 H型钢生产	635
5.3 充液拉深	508	5.1 轧制H型钢的生产工艺	635
<b>第6章 冲压自动化与安全技术</b>	511	5.2 焊接H型钢的生产工艺	637
1 冲压生产自动化	511	5.3 H型钢生产的新工艺和新设备	638
1.1 条料、卷料和板料送料装置	511	6 冷弯型钢	639
1.2 半成品送料装置	528	6.1 冷弯型钢产品的类型	639
1.3 自动检测保护装置	549	6.2 冷弯型钢的材质要求	640
1.4 冲压自动线	555	6.3 冷弯型钢的成形特点与成形过程	640
1.5 冲压生产线的输送机构	557	6.4 辊式冷弯成形生产工艺及其设备组成	641
2 冲压安全技术	557	<b>第3章 管材轧制成形</b>	643
2.1 人身安全技术	557	1 管材的特点、分类及基本要求	643
2.2 冲压模具的安全技术要求	569	1.1 管材的特点	643
2.3 冲压生产中的噪声及其控制	572	1.2 钢管的分类	643
参考文献	574	1.3 钢管的技术要求	643
<b>第4篇 板型管轧制成形</b>	575	1.4 钢管的轧制生产	644
<b>第1章 板带轧制成形</b>	577	2 管材的原料	645
1 板带材的特点及分类	577	2.1 管坯	645
1.1 产品特点	577	2.2 管坯加热	646
1.2 技术要求	577	3 管坯轧制穿孔	646
1.3 产品分类	578	3.1 管坯斜轧穿孔	646
2 板带轧制参数及产品几何参数	578	3.2 二辊斜轧穿孔变形过程	646
2.1 轧制过程基本参数	578	3.3 二辊斜轧穿孔过程运动学	647
2.2 轧制过程的塑性变形	579	3.4 二辊斜轧穿孔过程咬入条件	649
2.3 轧制压力与轧制力矩	580	3.5 斜轧实心圆管坯的应力和变形状态——孔腔形成机理	650
2.4 板带的几何参数	581	3.6 二辊斜轧穿孔作用力与力矩	653
2.5 板带产品的公差标准	584	3.7 三辊斜轧穿孔	654
3 板带轧机	585	3.8 推轧穿孔机	656
3.1 轧机的结构及组成	585	3.9 导盘式二辊斜轧穿孔机——Diescher穿孔机	656
3.2 板带轧机的分类	586	3.10 新型菌式(锥形辊)穿孔机	657
4 板带轧制生产工艺	587	4 钢管在圆孔型中的纵轧	659
4.1 中厚板	587	4.1 圆孔型中轧管的分类	659
4.2 热轧薄板	590	4.2 圆孔型中轧管变形过程	661
4.3 冷轧薄板	593	4.3 圆孔型中轧管的变形区和孔型的几何参数	662
5 板带轧制质量与性能控制	595	4.4 圆孔型中轧管的运动学	663
5.1 厚度控制	595	4.5 在圆孔型中轧管时的咬入条件	663
5.2 板形控制	598	4.6 纵轧钢管的力参数计算	664
5.3 温度和组织性能控制	603	4.7 钢管空心轧制	666
<b>第2章 型材轧制成形</b>	607	4.8 连轧管机组	669
1 型钢的品种及其生产工艺过程	607	4.9 张力减径机组	675
1.1 型钢的品种和用途	607	5 钢管斜轧延伸	678
1.2 热轧型钢轧制方法和特点	609	5.1 三辊斜轧管机轧管	678
1.3 轨梁和大、中型型钢生产	611	5.2 狄塞尔轧管机轧管	679
1.4 小型型钢和线材生产	614		
1.5 型钢生产发展趋势和轧制新技术	617		
2 小型型钢和棒材连轧生产	620		

5.3	Accu-Roll 轧管机轧管 .....	680	6.3	周期式轧管送进量的确定 .....	684
5.4	三辊行星轧机 (PSW) 轧管 .....	680	6.4	周期式轧管滑移现象 .....	684
6	钢管的周期轧制 .....	682	6.5	周期式轧管轧制力的计算 .....	685
6.1	周期式轧管变形过程和变形量 .....	683	参考文献 .....	686	
6.2	周期式轧管咬入 .....	683			

# 第 1 篇

## 概 论

■ 主 编 夏巨谔 张 金

■ 编 写 夏巨谔



材料塑性成形加工工业是机械制造业的重要组成部分，精密塑性成形技术是先进制造技术的重要组织部分。可以认为，塑性成形技术是现代工业生产技术的支柱，其生产能力和工艺水平，对一个国家的工业、农业、国防和科学技术所能达到的高度，影响很大。

## 1 材料塑性成形的特点

材料在外力作用下产生永久性变形而不破坏其完整性的变形称为塑性变形。本卷则主要是论述金属材料的塑性变形。

金属塑性成形技术是金属加工方法之一。它是利用金属的塑性——金属产生塑性变形的能力，使金属在外力作用下成形的一种加工方法。因而也称为金属塑性加工或金属压力加工。

工业中常见的金属加工方法，如轧制、挤压、拉拔、锻造、冲压等，都是利用金属的塑性而得以实现的。通常，轧制、拉拔、挤压是生产型材、板材、管材和线材等金属材料的加工方法，属于冶金工业领域；而锻造、冲压则是利用这些金属材料来制造机器零件的加工方法，故属机械制造业领域。但是这种区分方法也不是绝对的，例如有的冶金工厂中也利用锻造来生产棒材，有的机器制造厂也利用轧和挤的变形方式来生产机器零件。本卷则着重论述机械制造领域内的塑性成形方法。

金属塑性成形方法由于在技术上和经济上有独特之处，因而是国民经济中不可缺少的重要加工手段。它的主要优点有：

1) 产品性能好 金属材料经过相应的塑性加工后，其组织、性能都可得到改善和提高，特别是对于铸造组织的改善，效果更为显著。例如，铸锭要通过锻造或者轧制，或者挤压，才能使结构致密，组织改善，成为合用的材料。当用这些材料为原毛坯，通过塑性成形工艺生产零件毛坯或零件成品时，因金属材料沿零件的轮廓形状分布，金属纤维连续，加上材料在外力作用下处于三向压应力或以压应力为主的应力状态下成形，有利于提高材料的成形性能和材料的“结实”程度。其综合效果是有利于进一步提高零件产品的力学性能，如强度、冲击韧度和抗疲劳寿命等。以圆锥齿轮为例，采用精锻工艺生产的齿轮，同采用切削加工生产的相比，其强度提高20%，而热处理变形降低了30%。因此，一般说来，凡是承受交变载荷，服役条件比较繁重的零件，采用塑性成形方法制造的比较可靠。

2) 材料利用率高 金属塑性成形是金属在固态下体积的转移过程，因此，在成形过程中，不像切削加工那样产生切屑，所以是一种少无切屑成形方法。以常见的圆锥齿轮和汽车轮胎螺母为例，当采用棒材作原始毛坯通过切削加工生产时，其材料利用率分别为41%、37%；当采用普通模锻工艺生产相应的锻件毛坯，然后通过切削加工获得零件成品时，其材料利用率分别为68%、72%；当分别采用精密模锻和挤压工艺生产时，相应的材料利用率为83%、92%。

3) 产品尺寸精度较高，表面粗糙度较低，形状和尺寸规格的一致性好 塑性成形，除自由锻造工艺外，模锻、挤压、轧制成形、摆辗、冲裁、弯曲、拉深、旋压及各种特种成形工艺，均为坯料金属通过模具或专用装置在机器的外力作用下成形为所需工件即产品，工件的形状和尺寸均由模具来确定，因此，产品尺寸精度较高，表面粗糙度较低，其形状和尺寸规格的一致性好。而采用精密模锻、冷挤压和精密冲裁等精密成形工艺，所得工件的一致性更好，其尺寸精度、表面粗糙度完全可达到切削加工中的磨削加工的水平。例如，闭式精锻的圆锥齿轮，其齿形误差只有0.02 mm（取代刨齿和滚齿加工），精度达IT7级，可满足现代轿车的要

求。冷锻件直径公差可达0.02 mm，厚度公差在0.10 mm以内，同心度误差小于0.05 mm。又如，精冲制件的尺寸公差在0.01 mm之内，表面粗糙度为 $R_a 2.5 \sim 0.63 \mu\text{m}$ ；对于板材抗拉强度至600 MPa，厚度为1~4 mm的精冲件，其尺寸精度达IT7级。

4) 劳动生产率高 如上所述，对于零件毛坯或零件成品，当采用塑性成形工艺来生产时，一般都以模具为主要的工装；加上普遍采用机械化、自动化流水作业实现大批量乃至大规模生产，可以达到很高的生产率。例如，在120 MN热模锻压力机上生产汽车发动机六拐曲轴模锻件，仅需40秒钟；采用自动冷镦机生产M12螺栓和螺母，其生产率分别为每分钟210件和150件；采用闭式锻造压力机，同时配上自动化生产线，每分钟即可生产圆锥齿轮精密锻件20件。又如，现代高速冲床，一般在400次/min以上，最快可达1000次/min以上。

由此可见，利用金属塑性成形方法不但能获得强度高、性能好的工件，而且具有生产效率高、材料消耗少、减少环境污染等优点。

## 2 材料塑性成形在国民经济中的地位和作用

材料塑性成形工艺在汽车、拖拉机与农业机械、机床、航空航天、兵器、舰船、工程机械、起重机械、动力机械、石油化工机械、冶金机械、仪器仪表、轻工、家用电器和信息产业等制造业中，起着极为重要的作用。它是实现这些行业中的自由锻件与模锻件、挤压件、普通冲压件及精冲件、管件与型材、特种成形件等生产的主要方式和方法。

采用塑性成形加工的零件与制品，在汽车与摩托车制造中，其比例占70%~80%；在拖拉机及农业机械中约占50%；在航空航天飞行器中占50%~60%；在仪表中高达90%；在家用电器中包含采用塑性成形加工的塑料件在内高达90%~95%；在工程与动力机械中也占20%~40%。

以载重汽车为例，一辆汽车由数十个乃至上百个部件上万个零件组装而成。其中，采用模锻工艺生产的发动机关键零件有连杆、曲轴、气门、凸轮轴等；传动轴系的关键零件有万向节叉、滑动叉、凸缘叉、十字轴和花键轴等；底盘上的关键零件有前梁、左右半轴、左右转向节、左右制动凸轮等；各种齿轮锻20余种。一辆EQ240载重车需要锻件125种，近270件。车身上所需的大型板料冲压件有驾驶室顶棚、车门、前盖板、后围板、侧围板、底板、车箱、仪表板等；底盘上的大型冲压件有大梁、横梁、保险杠、油箱等；车轮上的钢圈与轮毂等。各种钣金件的品种和数量比锻件的还多。轿车上的薄板件其品种和数量更多。

常规兵器中的枪、炮、坦克等的关键零部件大量采用锻造工艺生产；子弹和炮弹主要采用变薄拉延与挤压工艺生产；飞机、火箭与导弹外壳主要用板料成形工艺生产等等。

近20余年来，工业发达国家不仅用其锻件产量来衡量锻造工业的发展水平，而且也用来衡量制造业的发展水平。通常认为，一个钢产量为千万吨计的国家，各类锻年总重量则应以百万吨计。例如，前苏联钢的年产量达到4500万吨的时候，各类锻件总重量为350万吨，约占钢产量的8%；美国、日本和德国为8%以上。

据统计，1997年我国锻件总重量为253万吨，近年来逐年增加，相对我国原有的锻造工业的薄弱基础进步巨大，但因我国钢产量超过亿吨，为世界各国钢产量之首，其锻件产量所占比例与发达国家相比，存在较大差距。这表明，我国的锻造工业乃至整个塑性成形加工工业存在着巨大的发展空间，尤其是，随着我国汽车工业、能源动力机械、航空航天和造船工业的迅速发展，材料塑性成形技术的地位和作用将更加凸显出来。

### 3 中国塑性成形加工技术发展概况及成就

#### 3.1 古代塑性成形加工技术概况

体积金属的锻造技术和板料金属的冲压技术是金属材料塑性成形加工技术的主体。下面着重阐述这两种塑性成形技术的发展概况及所取得的成就。

世界上锻造技术起源于何时,无从考证。但中国是世界上应用最早的国家之一。从1972年河北藁城县商代遗址出土的兵器考证,距今已有3300余年,经采用现代技术检验,其刃口是采用合金嵌锻而成,这是我国至今发现最早生产的锻件。另外,在陕西秦始皇兵马俑坑的出土文物中,有三把合金钢锻制的宝剑,其中一把至今仍光艳夺目、锋利始昔,令目睹者叹为观止。

冲压工艺源于金属手工艺品的制作。在我国河北省怀来县北辛堡出土的战国早期(公元前475~221年)生产的红铜鎚胎薄铜缶(音否,小口大腹的盛酒器),被学者认为是至今为止发现的世界第一个冲压制品。此缶壁厚仅1mm左右,而且厚薄十分均匀。它分为上下两部分,加工成形后,再用冷咬接技术套接在一起,器身还有精细而流畅的刻文。

从2000~3000多年前的兵器刃口的合金钢锻制工艺和精美绝伦的器皿制作工艺表明,其制作年代之早、技术复杂程度之高,都证明了我国古代劳动人民在锻造成形和钣金成形方面的勤劳智慧和领先地位与水平。

#### 3.2 建国以来前30余年的发展概况及成就

我国的锻造和钣金生产虽然历史悠久,但长期处于手工生产状态。由于长期的封建社会,不少统治者将科学技术与发明创造视为雕虫小技,形成鄙薄科学技术的传统陋习,造成锻压技术与其他科学技术领域的命运一样,得不到发展。近百年来,我国又受帝国主义列强的疯狂侵略和肆意掠夺,加上清朝以及后来的国民党当局的腐败统治,极大地阻碍了社会生产力和科学技术的发展。直到1949年新中国成立,我国的锻压工业随着机械制造业的发展而同步壮大起来。

1) 大型自由锻 20世纪50年代末至60年代初,在原机械工业部总工程师林宗堂的主持下,上海江南造船厂制造了我国第一台10000t水压机,使我国成为世界上继前苏联和美国等国家之后具备生产大型自由锻件能力的国家之一。至90年代初,我国拥有自由锻水压机并能生产大型锻件的锻造厂有45家,其中800t以上的水压机有65台份,6000t以上的7台份,总的生产能力超过700000t。能够生产诸如320000kW水力发电机组、600000kW大型火力发电机组、4.2m特厚轧板机、30000t模锻水压机、12500t自由锻水压机、8000t热模压力机、5000t级舰船轴系等大型关键产品的大锻件。

2) 汽车模锻与冲压 20世纪50年代中期伴随着长春第一汽车制造厂的建立,标志着我国现代化锻造与冲压生产的起步。70年代初期,在湖北十堰建设了东风汽车公司,通过引进热模锻压力机与国产锻造设备相结合,组建了多条机械化自动化模锻件生产线和机组,使我国汽车模锻件的生产接近当时的国际先进水平;以国产大中型冲压设备为主、进口冲压设备为辅,使我国的载重汽车冲压件的生产取得了较大进步。

3) 精密模锻 20世纪60年代起,我国对多种少无切屑新工艺和特种成形工艺逐步开展了研究。60年代初,主要开展了锥齿轮和叶片精锻技术的研究,1970年上海机械工艺研究所和上海齿轮厂合作,率先对美国道奇T234汽车差速器行星齿轮进行热精锻工艺试验,1972年试验成功,1973

年建立了精锻车间组织批量生产。1990年机械电子工业部科技司将热精锻直齿圆锥齿轮列为国家重点节能节材工艺推广项目,形成了一定的生产能力。其中,上海汽车齿轮总厂二分厂、姜堰市精锻齿轮厂等发展较为突出。热精锻齿轮一般为9级精度,少数达8~9级,材料利用率为76%。开始主要用于船用挂浆机、拖拉机和农用汽车的驱动桥差速器直齿锥齿轮。后来逐步应用于轻型车和中型卡车的驱动桥。80年代中后期,武汉机械工艺研究所等单位试验成汽车同步器齿环的精锻技术,并成立专门的公司,形成了大批量生产。700mm不锈钢叶片,由北京机电研究所、华中工学院和东方汽轮机厂合作,研究成天然气环形转底式少氧化加热炉加热、精密辊锻制坯、摩擦压力机上终锻成形,使叶片锻件的质量和尺寸精度达到当时国外同类锻件的水平。

4) 冷挤压 20世纪60年代中期,华中科技大学(原华中工学院)、上海交通大学等率先开展冷挤压工艺研究,至70年代中期,低碳钢和中碳钢的冷挤压工艺在汽车、拖拉机、标准件、轻工、仪表等行业得到应用,其中一个典型实例就是汽车轮胎螺母的冷挤压,东风汽车公司标准件建厂时,原打算引进德国的热挤压生产线,后来采用华中工学院同武汉汽车标准厂共同研究并已成功应用的正反复合冷挤压工艺,建立了生产线,不仅节省了设备投资,而且产品质量更高。

5) 辊锻 自20世纪80年代初起,吉林工业大学对形状复杂的长轴类锻件成形辊锻金属流动规律、辊锻模型槽约束区内金属前滑等问题进行了研究,首先成功地完成了连杆的成形辊锻。然后同谷城汽车配件厂(现谷城车桥有限公司)一起在国内建立了首条汽车前梁成形辊锻生产线。90年代,谷城车桥公司通过试验和生产实践,不断改进和完善成形辊锻技术,使前梁的成形辊锻工艺逐渐趋于稳定,并新建两条前梁辊锻生产线,使前梁锻件的年产量超过10万件。2001~2002年,该厂同北京机电研究所协作,采用成形辊锻预成形,螺旋压力机整体模锻和弯曲成形工艺,建立了辊锻机→2500t高能螺旋压力机→1000t切边机的机械化生产线,较为成功地控制了前梁锻件长度尺寸的精度和质量,使该厂前梁锻件的年产量总共可达40万件。该项技术为我国独创的汽车前梁锻件工艺方法。

6) 楔横轧 自20世纪70年代初起,北京科技大学(原北京钢铁学院)胡正寰院士及其所领导的科研组,致力于楔横轧技术的研究,先后研究成功了以带密集凸轮轴为典型件的轴类件楔横轧工艺,以拖拉机变速箱轴为典型件的多楔轧制工艺,以钢球为典型件的孔型斜轧工艺,以汽车双联、四联齿轮坯、尾研、吊环及摇臂为典型件的斜轧制坯-横锻成形工艺。

7) 闭式模锻 20世纪80年代,华中科技大学、北京机电研究所等对异形枝叉类零件和多孔类零件的多面模锻,可分凹模模锻和闭式模锻进行了研究。提出了分流降压的设置原则,并归纳出不同类型的零件进行闭式模锻时,其分流降压的设计与计算方法以及成形力的计算公式。解决了闭式模锻中坯料体积不可能与模膛体积严格相等的矛盾,避免了模膛压力过分升高而影响模具的寿命问题。先后开发出管接头及小型阀体的多向模锻、十字轴及三销轴的径向挤压、万向节叉及滑动叉的正向分流挤压模锻和大长径比轴杆零件闭式聚料成形等。在国内汽车零部件制造行业内推广应用,平均提高材料利用率25%~30%。至90年代,又研制成HYD-Y61-400/600及Y28-400/400双动挤压液压机和多连杆闭式锻造压力机,填补了我国闭式模锻压力机的空白。

8) 摆动辗压 20世纪70~80年代,国内形成了近30余个高校、院所及厂家参加的庞大科研队伍从事摆辗工艺、理论和设备的研究工作,对其成形规律、变形机理、摆头运

动轨迹和送进量的确定原则等作了大量的分析研究,研制出多种锻造摆辗机。其中立式摆辗机是国内常见的,主要用于饼盘类锻件的加工;卧式摆辗机则主要用于汽车半轴类锻件的生产。此外,还有用于加工双联齿轮、局部成形的专用摆辗机和摆辗铆接机。采用摆辗工艺实现了汽车和拖拉机后半轴、被动大齿轮坯、碟形弹簧、离合器盘和高速钢刀片等。

9) 旋压工艺 20世纪50年代,在航空、电器、日用品等的生产中已开始采用手工操作赶棒的普通旋压工艺生产一些制件,技术上进展不大。60年代初由变薄旋压到普通旋压,由军品到民品,旋压设备由液压到数控、由通用到专用。1963年起,航空部625所及有色金属研究总院率先开发出歼击机副油箱罩及无缝铜管。至80年代末,其研究与应用单位已超过100家。产品有飞机头及浆帽、喷气发动机及火焰筒、导弹与火箭弹壳体、喷管及药形罩、化工罐体、矿用支柱,而最广泛应用的是灯具、水壶等民品。北京航院开发了带轮旋压装置,哈尔滨工业大学与哈汽配及辽阳容器厂通过对引进设备的消化吸收创制出国内第一套 $4\,500\times 25$ 及国内最大的 $5\,200\times 32$ 二步法无胎封头成形设备。

10) 精密冲裁 20世纪70年代中期,原电子工业部武汉长江有线电厂在华中工学院的协作下,研制了带齿圈压板和反向施压凸模的液压模架,将普通开式冲床改造为可进行精密冲裁的压力机,设计制造了各种精冲模具,开发出数十种零件的精冲工艺。北京机电研究所自70年代中起至今投入了大量的技术力量,在精冲基础理论、精冲压工艺、模具设计和制造、精冲压力机等方面进行了全面系统的研究,开发出多种精冲产品并在产业化方面取得丰硕成果。其中,所开发的捷达变速箱拨叉上的两个精冲零件,将精冲同挤压及多种普通冲压工序进行复合,扩大了精冲工艺的应用范围。

11) 爆炸成形 自20世纪60年代中后期开始,对爆炸成形工艺就进行了研究,经过相关单位的科技人员的努力,创造了不少的新工艺、新方法。在成形拉深件、胀形件和其他钣金零件方面,取得了比较成熟的经验。就封头而言,已能加工出符合公差要求,最大直径为3m左右,最大厚度为40~50mm的产品;对于半球类深拉深零件,其变薄量不超过9%;对于直径为600~700mm的胀形件,尺寸公差可控制在0.32mm以下;制成的最薄零件厚度仅0.08mm;最小零件直径只有十几毫米,最大平板件达 $5\text{m}\times 1.6\text{m}$ 。另外,实现了不同金属,不同零件的相互焊接。

此外,还对板料的液压成形、电磁成形、管料胀形等板管特种成形工艺和一些特种锻造成形工艺都有研究,并取得了技术成果和生产应用。

### 3.3 改革开放20余年的发展概况及成就

改革开放以来,我国的锻造行业与冲压行业快速、持续、稳定地发展。全国锻造行业的厂点10000余家,其中,骨干企业350多家,中外合资20余家,从业人员20余万,专业技术人员12000多人。根据调查和测算,全国2000年锻件总产量为263万吨,其中模锻件165万吨。全世界锻件年产量约为1450万吨,我国约占世界锻件总产量的25%,居世界第一。

#### 3.3.1 锻压设备

##### (1) 锻造设备

自20世纪80年代以来,锻造设备进入了一个新的发展时期,我国不仅从国外引进了先进的锻造设备,还通过许可证贸易和技术合作,引进相应的制造技术。如与德国EUMCO的合作获得热模锻压力机、平锻机、辊锻机的制造技术,提高了我国锻造设备的制造水平。目前我国已能自行设计制造2500t摩擦离合器式螺旋压力机, $\phi 1\,200$ 楔横轧机、 $\phi 1\,000$ 辊锻机、10000kN冷挤压机以及前面已经提到的内

外滑块公称吨位分别为4000/4000kN数控双动挤压液压机,此外,还有电液锤、辗扩机和摆辗机等。现有锻造设备30000台。

##### (2) 锻造生产自动化及数控技术

1) 锻造液压机组计算机控制系统 华中科技大学自20世纪中期开始,首先与西安重机所合作,在实验室1000kN油压机上进行锻造液压机组及自动控制系统的研究,其成果用于四川长城钢厂;80年代末90年代初,以单板机(2800)为基础,对一重20000kN水压机组进行了数控技术改造;1994年至现在,同兰州石油化工机械厂合作,先后为湖北大冶钢厂、张家港机械厂、太原矿山机械厂、株洲电力机车车辆厂、湖南锻造厂、铜陵车辆厂、沈阳车辆厂、青江机械厂、山东兖州合金钢厂和贵州新力航空锻造厂等开发了8000kN锻造液压机组及计算机控制系统;2000~2001年,又对首都钢铁公司从德国进口的10000kN、四川长城钢厂从日本进口的20000kN锻造液压机组进行了数控技术的改造。所开发和改造的锻造液压机组及计算机控制系由锻造液压机、操作机、移动砧库等组成的计算机控制的机组,从炉内出料到锻件锻成,全部实现机械化和自动化,仅需一人操作。在压力机滑块80次/min及以上时,能实现液压机与操作机的自动联动,锻件精度可达 $\pm 1\text{mm}$ ;在高压、大流量、换向频繁条件下,对大运动惯量负荷进行平稳控制;操作机夹钳旋转精度为 $\pm 1^\circ$ 、大车行走精度 $\pm 10\text{mm}$ ;可连续24小时连续稳定地运行。

2) 数控板管成形设备 20世纪80年代初,湖北三环(黄石)锻压机床有限公司开始与比利时LVD公司合作,先后开发了多种数控板管成形设备:

① PPEB系列数控板料折弯机,其特点是以工作台为测量基准的光栅尺安装在机架两侧,随时检测滑块与工作台的相对位置,在工作行程的任何位置,全闭环系统始终控制滑块的位置同步和折弯力,保证折弯过程的精确控制。

② PPT(K)、PPN(K)、PPNMZ、2-PPN、2-PPNMZ系列(数控)液压折弯机,其特点是采用了PPT系列机械同步系统和PPN系列机液滑阀系统,产品具有高精度,且稳定性好,工作可靠。

③ QGA(K)、QGO(K)、QVN(K)、QCS(K)系列(数控)液压剪板机,产品质量高。

近两年,该公司同德国汉斯舍恩机械制造有限公司合作开发了HFZP系列液压式精冲压力机,其特点是具有完整的标准配置,精度高、速度快、台面宽、工艺用途广;通过引进美国STRIPPIT公司最新技术并联合开发了STRIPPIT-HD20系列数控转塔冲床,该机床公称压力为200kN,可冲压的板材厚度为6.35mm,工作时,工作台全行程的重复精度达到 $\pm 0.05\text{mm}$ ,制件精度为 $\pm 0.10\text{mm}$ 。该公司于2002年初,成功地开发出PPEB5200/125型电液伺服数控折弯机。该机为大型折弯机,填补了国内大型折弯机的空白,在国际上为第三台。该机公称压力为52000kN,机器总重量1000t,长34735mm,宽14110mm,高14960mm,由5轴电液伺服数控折弯机主机、模具、输送辊道、6轴前后托料机、4轴前后送料机、侧出料机和计算机控制系统组成。自动完成送料、托料、折弯成形、旋转管坯、出料等多种功能,可连续自动完成大直径缝焊管的折弯成形,所能折弯的最大缝焊管长13000mm,直径超过1500mm,控制精度可达0.1mm。该机已成为我国西气东输管道生产的关键设备,当然,其用途更广。

#### 3.3.2 锻压生产工艺的发展

##### (1) 大锻件生产工艺的发展

大锻件通常是指以铸造钢锭为毛坯,在大于10MN锻造液压机上采用自由锻方法锻造而成的锻件。由于重型机械、



发电设备、国防工业、石油化工、船舶制造业、机车车辆集中的关键大型零件均为大锻件，因此大锻件生产水平常被视作为国家经济实力和机械工业发展的重要标志之一。通过多年的发展，特别是改革开放以来的努力，我国大锻件行业的面貌有了很大改观，达到了一定的生产规模和水平，且拥有的125 MN级大型锻造液压机数量，居世界第三位，仅次于美国和俄罗斯。基本上掌握了一些大型轴类件先进的锻造工艺方法、筒体及环件制造的三点砧锻造法、大直径带锥锻筒体收口锻造法等。燕山大学和沈阳重机厂合作开发了发电机转子用护环外补液胀形法，制造了370 MN框架式护环液压胀形机。天津重机厂、第一重机厂、资阳机车厂分别开发了大型柴油机全纤维曲轴的TR与RR法锻造工艺。此外国内还开发了管板类锻件生产新方法。就目前的大锻件生产水平来说，能够为320 MW（高中水头）水电机组，600 MW核电机组，4 200 mm特厚板轧机，300 MN模锻水压机及125 MN自由锻水压机，120 MN热模锻压力机，排水量70 000 t级船舶，单重900 t炼油用加氢反应器，轴承用 $\phi 5.5$  m环形组件，23 m<sup>3</sup>矿用挖掘机等装备提供成套大锻件。不仅基本上满足了国民经济各部门发展与装备自身的需求，而且还能向国外提供如300 MW核电机组及火电机组成套锻件，轧辊及轧钢设备用锻件，大型柴油机全纤维曲轴锻件，已具备走向国际市场的能力。

我国大锻件的生产已经取得很大的成就，但是由于锻造主机的配套设施不完备，影响了钢锭的材料利用率和生产效率，就行业整体水平而言与国外先进水平和国民经济的发展需求相比在锻件质量、重量、等级、品种、效率、消耗、工艺装备及科研开发能力，交货期等诸多方面有较大差距，这些问题必然对我国大锻件行业的市场竞争力以及企业的生存和发展，产生不利影响，应该找出有效的途径得到逐步改善和消除。

### (2) 普通模锻工艺的发展

我国近10多年来，热模锻生产随着汽车、农用汽车等车辆的不断增长而同步发展，锻造技术水平有了较大的提高，模锻设备的构成有了明显的变化，热模锻压力机，摩擦压力机，高能螺旋压力机增加较快，并且是以组线生产为主，具有一定的机械化自动化生产水平。例如一汽锻造厂技改项目125 MN曲轴、前轴热模锻生产线，济南汽车厂63 MN转向节锻造生产线，仅汽车制造厂和配套件厂就增加热模锻压力机50余台套，特别应该指出的是这些生产线设备中有许多都是国产，而且锻造工艺装备和连线技术都是由国内厂、所联合研制完成的，标志着我国热模锻技术提高到一个新的水平。

针对我国锤类设备量大面广而又落后的状态，对电液锤和蒸汽锤的电液锤动力头进行了改造，在政府和中国锻压协会的积极组织维护下，取得了很大的进展，同时以引进的电液锤组成的锻造生产线，也使热模锻生产工艺技术有了新的提高。例如白城精锻厂和南宮曲轴连杆厂先后从德国BECHE引进了50 kJ和25 kJ的电液锤和相应的配套设备，建成连杆锻造生产线，锻造连杆的质量和精度达到了轿车锻件的技术要求，实现了轿车连杆生产的国产化，同时也使锻造工艺设计，模具制造以及锻件质量检测和控制在新的进步。1999年起，浙江万向钱潮公司先后从德国LASCO公司进口了50 kJ、80 kJ和100 kJ的电液锤生产十字轴锻件，十字轴万向节分别出口美国、欧洲等国家，给主机厂直接配套，开创了我国锻造产品（汽车零部件）在海外直接为主机厂大批量配套的先河。安庆百协精密锻造公司也从德国BECHE公司进口了100 kJ电液锤及其相关设备，建成精锻汽车转向节生产线。

### (3) 精密锻造技术的进步

精密锻造是指以金属体积塑性成形的方法获得表面光洁、尺寸精确的制品的锻造工艺，诸如冷挤压、温挤压、热挤压、热精密模锻、冷精密模锻、闭式锻造等，这些成形方法统称为精密锻造。

20世纪80年代以来，轿车和家电、摩托车业的发展，为冷锻工艺提供了新的发展机遇。上海第一汽车附件厂、大丰自行车飞轮厂（即现江苏森威集团）、天津汽车锻件厂、大连洗衣机厂、青岛手表厂都先后从日本和德国引进了冷锻压力机，用以生产汽车活塞销，DOJ型等速万向节，摩托车齿轮、花键轴，自行车中轴，调速壳，手表壳等零件，此时的温锻工艺仅在轴承行业的一些厂得以继续应用。但由于我国冷温锻造的市场小，以及冷温锻工艺体系发展不完备，诸如冷锻钢材、模具技术、冷锻设备等的欠缺，冷温锻工艺规模化生产的企业屈指可数只有几家。

20世纪90年代以来，随着轿车、摩托车产量的快速增长，冷温锻工艺生产的市场得以扩大，国家在“九五”科技攻关项目中加大了对冷温锻复合工艺研究的支持，厂所合作对BJ型等速万向节外壳温、冷锻复合工艺进行了开发研究，并获得成功。目前江苏森威集团已建成由500 kW中频感应加热炉，10 000 kN冷锻液压机（一台），4 000 kN（两台）和6 300 kN（两台）肘杆式压力机组成的冷温锻生产线，能够采用冷锻或冷温锻复合工艺生产DOJ型和BJ型等速万向节外壳年产120万件，DOJ型筒形壳内沟槽不再机加工，BJ型球冠内沟槽仅0.3 mm余量。该厂还自主开发了轿车变速箱轴的冷挤压工艺，并能生产符合DIN标准的冷锻输出和输入轴；采用气动式闭式锻造模架在冷锻压力机上生产等速万向节的内套和三销轴，年产100余万件。江苏太平洋公司对同步器结合齿轮的冷锻开发成功，并且投产。中国冷温锻造的发展，也引起外国企业的重视。近几年，丰田汽车公司在天津建成了天津丰田汽车锻造部件公司，采用冷温锻工艺生产等速万向节精锻件，年产100万套，用以温锻的1 600 t多工位自动传送压力机，年生产能力达400万件。与此同时，上海纳铁福公司从德国SCHULLER公司引进了1 600 t全自动温锻压力机生产线，主要生产轿车等速万向节外壳精锻件，年产300万件。这无疑是对国内精锻行业的巨大冲击，应该说冷温锻行业面临严峻的挑战。

热挤压多用于钢厂的合金钢无缝钢管的生产，以及高压气瓶及特种合金棒料的生产上。由于热挤压工艺润滑剂和模具寿命的技术难度大，在机械行业、汽车制造业中的应用较少，目前只有少数几家阀门厂引进了设备，用热挤压和热锻复合工艺生产发动机进排气门毛坯，该项工艺发展势头不大。

如前所述，我国开发齿轮热精锻工艺较早，弧齿锥齿轮、直齿锥齿轮、同步器齿环的精锻生产对设备要求不高，在摩擦压力机上就能满足工艺要求。同时国内还引进了闭式锻造模架和用于齿轮冷温精锻的压力机。因此目前还没有受到国际齿轮精锻业的挑战，发展趋于稳定增长的势头。

高速热锻是指在高速自动热锻机上进行的热精锻工艺，具有生产效率高、锻件精度高的优点。20世纪80年代以来在我国高速锻锻工艺发展的基础上，韶关铸锻厂引进瑞士HATEBURE公司AMP30、AMP50高速锻锻机生产线，取得了良好的效果。后来，一汽引进了AMP70高速锻锻机生产线，用以精锻轿车齿坯，同时亦可精锻CVJ外壳、内套、三销轴、十字轴等轿车、摩托车零件，高速热锻在中小精锻件的生产中，也是一种高效精锻工艺。另外，高速自动热锻机在轴承行业得到应用，国内有一定的技术基础，可根据市场需求，着力投入开发研制。

### (4) 回转成形工艺技术的发展

回转成形的特征是锻件产生局部连续变形，因此无需很