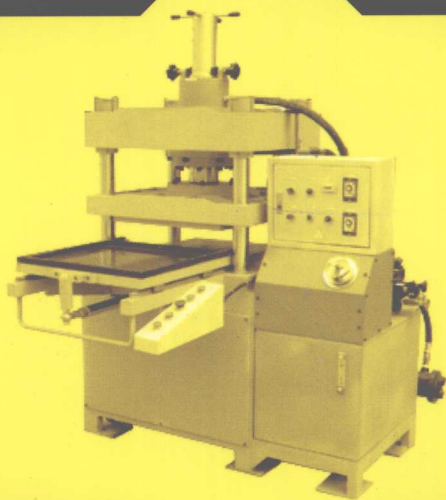


有 色 金 属 加 工 丛 书

有色金属

锻造与冲压技术

李英龙 李体彬 编著



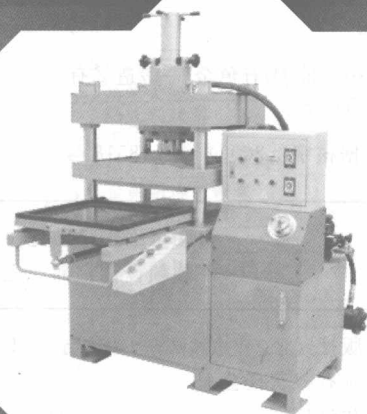
化学工业出版社

有色金属加工丛书

有色金属

锻造与冲压技术

李英龙 李体彬 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

锻造与冲压是金属塑性加工的主要方法之一。本书紧扣有色金属的主线，概述了有色金属一般的锻造和冲压成形工艺，详细介绍了铝、镁、铜等主要有色金属材料的锻压加工性能和独特的加工工艺，重点突出了典型材料、典型零件成形工艺过程的设计与加工。

本书适合从事有色金属锻造与冲压成形加工的工艺设计人员和现场指导人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

有色金属锻造与冲压技术/李英龙, 李体彬编著. —北京: 化学工业出版社, 2007.10
(有色金属加工丛书)
ISBN 978-7-122-01205-0

I. 有… II. ①李…②李… III. ①有色金属-锻造②有色金属-冲压 IV. TG319 TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 148518 号

责任编辑: 邢 涛
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 韩 飞

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市延风装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张 16 字数 459 千字
2008 年 1 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

欢迎订阅化学工业出版社金属材料类图书

书号	书 名	开本	装订	出版时间	定价/元
9869	金属材料及其成形性能	大 32	平	2007	28
00695	有色金属挤压与拉拔技术	大 32	平	2007	32
00693	有色金属锻造生产技术	大 32	平	2007	38
00195	常用金属材料手册	大 64	精	2007	32
00092	中外钢号对照手册	B5	精	2007	92
9746	钢铁制品表面着色技术	大 32	平	2006	28
9677	铜冶炼工艺	大 32	平	2006	22
9551	块体非晶合金	B5	假精	2007	48
9549	耐热镁合金	B5	精	2007	75
9541	铜回收、再生与加工技术	B5	平	2007	48
9198	金属材料先进制备技术	16	平	2006	35
9126	特殊钢缺陷分析与对策	大 32	平	2006	28
8929	金属强化原理与应用	大 32	平	2006	35
8661	钢铁零件制造与热处理 100 例	大 32	平	2006	28
8577	铝加工生产技术 500 问	大 32	平	2006	45
8492	铜冶炼技术(引进版)	大 32	平	2006	35
8437	实用轻金属材料手册	大 32	平	2006	38
8198	一维铜锌铝纳米复合材料	大 32	平	2006	29
8174	高氮钢和不锈钢——生产、性能与应用	大 32	平	2006	32
8105	金属材料焊接基础	大 32	平	2006	38
7925	实用五金手册	大 32	精	2006	36
7752	化学热处理技术	大 32	平	2006	22
7737	五金手册	大 32	精	2006	38
7689	金属爆炸复合与物理冶金	大 32	平	2006	35
7658	有色金属熔炼与铸锭	B5	平	2006	35
7183	固体物理导论(翻译原著第八版)	16	平	2006	58
7055	水溶液沉积技术	大 32	平	2006	20
6976	表面熔融凝固强化技术——热喷涂与堆焊技术	大 32	平	2006	35
6641	材料表面强化技术	16	平	2006	55
6499	钢铁热处理实用技术	大 32	平	2006	20
6408	钛与钛合金	B5	平	2006	58
6290	五金手册	大 32	精	2006	88
5465	不锈钢焊接冶金	B5	平	2006	40
4183	有色金属——冶金、材料、再生与环保	16	平	2004	70

邮购电话：010-64518800

邮购地址：北京市东城区青年湖南街 13 号 邮购科 (100011)

详情及相关图书信息请浏览：<http://www.cip.com.cn>

如有写书意愿，欢迎与责编联系：邢涛 010-64519282，13661183278

E-mail: tao1223@vip.sina.com

丛书序

我国有色金属加工产业发展迅速，据有关部门提供的统计资料，目前铜加工材与铝加工材产量居世界首位。由于有色金属材料具有优异的性能，在航空、航天、电子、信息、能源、交通、冶金、电力、机械及建筑等领域得到了广泛应用。因此，可控制材料形状、尺寸、组织与性能有色金属加工技术，引起了人们广泛的关注。有色金属加工技术的发展与进步，对有色金属新材料的研究开发、应用及产业化具有决定性的作用，同时可有效地改善与提高传统材料的生产与使用性能，对国民经济的发展有重要的作用。

为了满足当今有色金属加工技术开发与生产的需要，我们编写了本套丛书。力图把有色金属锭坯制备、加工成形到材料热处理等全面系统地做一个总结。本丛书汇集了国内外有色金属材料加工工程领域的专家、学者及工程技术人员等在有色金属材料加工方面所取得的重要研究成果，以及作者自身多年教学与科研工作中积累的经验，使读者系统地了解有色金属加工理论、工艺及设备等方面的知识，对有色金属加工工作者提高业务水平大有帮助。

考虑到有色金属加工企业中，不论是重金属、轻金属，还是稀有金属材料的加工，产品生产工序都是从加工坯料制备开始，经轧制、挤压、拉拔、锻造及冲压等加工成形工艺到材料热处理结束。所以，我们将本丛书划分为五个分册，分别是《有色金属锭坯生产技术》、《有色金属挤压与拉拔技术》、《有色金属轧制技术》、《有色金属锻造与冲压技术》及《有色金属热处理技术》，共约 200 万字，各分册既具有各自独立的体系，又相互关联，便于读者使用。

本丛书内容系统新颖，从基本理论入手，展开技术性叙述，尽力体

现系统性、先进性、科学性及实践性，可供有色金属加工企业与科研院所的工程技术人员，以及高等院校从事有色金属加工教学和科研的教师与材料加工成形专业的学生参考。

《有色金属加工丛书》在撰写过程中，得到东北大学和郑州大学有关领导及老师的支持，在此一并表示感谢。

丛书主编 温景林

2007.05

前 言

锻造与冲压是金属塑性加工的主要成形方法之一，本书针对有色金属锻造和冲压成形的特点，着重叙述有色金属锻造与冲压成形理论、工艺、设备以及质量控制等知识。内容包括有色金属自由锻、模锻以及新的锻造方法；冲压成形中的冲裁、弯曲、拉深、胀形与翻边及其他板成形新方法。

本书共分 2 篇 16 章。第一篇为有色金属锻造，主要内容包括有色金属及其合金的锻造的基本特点、锻造的基本原理、锻造设备与工艺以及可锻性分析等。

第二篇为有色金属冲压成形，主要内容包括有色金属冲压成形的基本理论及冲压工艺、冲压变形工艺过程分析、冲压模的基本类型及结构设计等。

本书第一篇由李英龙执笔，第二篇由李体彬执笔，全书由李英龙统稿，李体彬对全书进行了核校。

本书可作为有色金属加工的工程技术人员及材料成形与控制工程专业师生的主要参考书。

本书在编写过程中，得到吉林大学材料科学与工程学院冯海阔博士和东北大学材料成形与控制工程研究所的曹富荣副教授和代先华硕士、宫丽彦硕士的热情支持，他们承担了资料收集与部分插图的绘制工作，在此一并表示感谢！

限于作者水平，书中难免存在不足之处，请读者指正。

编著者

2007 年 10 月

目 录

第一篇 有色金属锻造

1	锻造概论	3
1.1	锻造的类别	3
1.2	锻造生产在国民经济中的作用	3
1.3	锻造生产的特点	5
1.4	我国锻造生产现状及发展趋势	5
2	自由锻造	9
2.1	自由锻工序与锻件分类	9
2.2	自由锻工序分析	10
2.2.1	锻粗	10
2.2.2	拔长	20
2.2.3	冲孔	23
2.2.4	扩孔	26
2.2.5	错移	29
2.2.6	扭转	30
2.2.7	弯曲	31
2.2.8	切割	32
2.3	自由锻工艺规程制定	33
2.3.1	锻件图的制定	33
2.3.2	确定坯料的尺寸和重量	35

2.3.3	确定变形工艺方案和锻造比	37
2.3.4	确定锻造设备	44

3 模锻 49

3.1	模锻常用设备特点及应用	50
3.1.1	模锻锤	50
3.1.2	模锻压力机	51
3.1.3	螺旋压力机	53
3.2	模锻工艺	55
3.2.1	模锻时金属坯料在模腔中的变形过程	55
3.2.2	锻件图的设计	56
3.3	毛坯尺寸的决定	84
3.3.1	模锻件分类	84
3.3.2	计算坯料及其截面图	87
3.4	锻模设计	91
3.4.1	制坯模槽设计	92
3.4.2	模锻模槽设计	105
3.4.3	锻模结构设计	117
3.4.4	错移力平衡与锁扣设计	123
3.4.5	模块尺寸	127

4 铝及铝合金锻造 131

4.1	铝合金锻造用原料	131
4.1.1	铸锭	131
4.1.2	轧制毛坯	132
4.1.3	挤压毛坯	132
4.2	锻造热力规范	133
4.2.1	锻造温度范围	133

4.2.2	变形速度	136
4.2.3	设备每工作行程的变形程度	138
4.2.4	铸件的总变形程度和力学性能的各向异性	139
4.2.5	加工方法	142
4.3	设备吨位的确定	142
4.3.1	自由锻压力机吨位计算	143
4.3.2	模锻设备吨位计算	144
4.4	铝合金模具设计特点	146
4.5	铝合金锻造工艺	146
4.5.1	下料	146
4.5.2	加热	147
4.5.3	自由锻	148
4.5.4	模锻	149
4.5.5	模锻时的润滑	150
4.5.6	切边	151
4.5.7	清理	151
4.5.8	修伤	151
4.6	热处理	152
4.7	铝合金锻件缺陷及清除方法	152
4.8	典型锻造工艺过程举例	153

5 镁及镁合金锻造

5.1	镁合金锻造用的原材料	155
5.1.1	铸锭	155
5.1.2	挤压毛坯	155
5.2	锻造规范	156
5.2.1	工艺塑性	157
5.2.2	变形抗力	160
5.2.3	应力状态与塑性的关系	162
5.2.4	变形程度与力学性能的关系	163

5.2.5	加工再结晶图与晶粒大小的控制	166
5.2.6	锻造温度范围	167
5.3	锻造工艺	169
5.3.1	设备的选择及吨位确定	169
5.3.2	下料	170
5.3.3	锻前加热	171
5.3.4	锻造	173
5.3.5	切边	174
5.3.6	打磨	174
5.3.7	防火	175
5.4	锻件热处理	175
5.5	锻件的防锈蚀处理	177
5.5.1	氧化处理前的表面准备工作	178
5.5.2	氧化处理	179

6 钛及钛合金锻造

6.1	钛及钛合金	181
6.1.1	纯钛	181
6.1.2	钛合金	182
6.1.3	钛合金的污染问题	184
6.2	钛合金的可锻性	186
6.3	锻造热力规范	188
6.3.1	锻造温度范围	188
6.3.2	变形程度和变形速度	191
6.3.3	变形温度和变形程度对钛合金锻件晶粒度的影响	193
6.4	锻件和模具设计	194
6.4.1	收缩率	194
6.4.2	锻件结构和加工余量	194
6.4.3	圆角半径和模锻斜度	195
6.4.4	毛边槽尺寸和结构	195

6.4.5	局部锻粗规则	196
6.4.6	型槽壁厚与表面粗糙度	198
6.4.7	模具材料及模具寿命	198
6.5	锻造工艺	199
6.5.1	下料	199
6.5.2	加热	199
6.5.3	自由锻	202
6.5.4	模锻	203
6.5.5	润滑剂	204
6.5.6	切边	205
6.5.7	校正	205
6.5.8	锻件清理	205
6.6	锻件热处理	206
6.6.1	不完全退火	206
6.6.2	完全退火	206
6.6.3	等温退火	207
6.6.4	双重退火	207
6.6.5	淬火与时效	208
6.7	钛合金锻件缺陷	208
6.7.1	过热	208
6.7.2	局部粗晶	210
6.7.3	亮条	210
6.7.4	空洞	211
6.7.5	裂纹	212
6.8	钛合金 β 锻造	212

7 铜及铜合金锻造

7.1	纯铜的性能	214
7.2	铜合金的性能	214
7.2.1	黄铜	216

7.2.2	青铜	219
7.3	铜及其合金的可锻性	225
7.3.1	纯铜的可锻性	225
7.3.2	铜合金的可锻性	225
7.3.3	锻造温度范围	230
7.4	锻造工艺过程	231
7.4.1	下料	231
7.4.2	加热	231
7.4.3	自由锻	232
7.4.4	模锻	232
7.4.5	冷却和切边	233
7.4.6	清理及热处理	233

8 新的锻造方法 234

8.1	精密模锻	234
8.1.1	高温精密模锻	235
8.1.2	室温精密模锻	236
8.1.3	中温精密模锻	240
8.2	等温模锻	243
8.2.1	等温超塑性模锻	243
8.2.2	等温模锻	245
8.3	液态金属模锻	246
8.3.1	液态金属模锻尚存在的问题	247
8.3.2	各种因素对液态金属模锻件质量的影响	253
8.3.3	模锻件图的设计	256
8.3.4	模具设计	257
8.4	粉末锻造	258
8.4.1	粉末制备	260
8.4.2	粉末预成形压制	260
8.4.3	粉末加热烧结	261

8.4.4	预成形坯锻造成形	261
8.4.5	热处理	262
8.5	辊锻	262
8.5.1	辊锻变形的特点及其适用性	262
8.5.2	辊锻的分类与应用	263
8.5.3	辊锻机的主要形式与特点	265

第二篇 有色金属冲压成形

9 冲压成形概述

269

9.1	冲压工艺的特点	269
9.2	冲压制品的应用范围	269
9.3	冲压加工的分类和发展方向	270
9.3.1	冲压加工的分类	270
9.3.2	冲压技术的发展方向	270
9.4	板料冲压工艺性试验方法	271
9.4.1	板料的成形性试验	272
9.4.2	材料成形模拟试验	275

10 冲压变形的理论基础

280

10.1	冲压变形时的应力与应变	280
10.1.1	冲压变形时的应力状态	280
10.1.2	冲压变形时的应变状态	285
10.1.3	塑性条件	288
10.2	冲压成形极限及变形倾向性控制	294

11 冲裁

298

11.1	冲裁变形的过程分析	298
11.2	冲裁模间隙	302

11.2.1	间隙对冲裁质量的影响	302
11.2.2	间隙对冲裁力的影响	306
11.2.3	间隙对模具寿命的影响	306
11.2.4	凸、凹模间隙值的确定	308
11.3	凸、凹模刃口尺寸的确定	314
11.3.1	合理间隙的确定	314
11.3.2	凸、凹模刃口尺寸的计算原则	315
11.3.3	凸、凹模刃口尺寸的计算方法	316
11.4	冲裁力的计算和降低冲裁力的方法	321
11.4.1	冲裁力的计算	321
11.4.2	降低冲裁力的方法	322
11.4.3	卸料力、推件力与顶件力的计算	324
11.5	材料的经济利用	326
11.5.1	材料利用率	326
11.5.2	排样方法	328
11.5.3	搭边	330
11.5.4	条料宽度的确定	330
11.6	其他冲裁方法	334
11.6.1	整修	334
11.6.2	光洁冲裁	340
11.7	镁、钛合金的冲裁	342

12 弯曲 344

12.1	弯曲变形基本原理	344
12.1.1	弯曲变形过程	344
12.1.2	弯曲件的弹复	345
12.1.3	应变中性层的位置	346
12.1.4	弯曲时的应力与应变状态	349
12.1.5	最小弯曲半径	351
12.2	弯曲力矩与弯曲力的计算	355

12.2.1	弯曲力矩计算	355
12.2.2	弯曲力的计算和设备选择	357
12.3	弯曲件弹复值的计算与减少弹复的措施	361
12.3.1	弹复值的计算	361
12.3.2	影响弹复的因素	368
12.3.3	减少弹复的措施	368
12.4	弯曲件坯料尺寸计算	371
12.4.1	$r > 0.5t$ 有圆角半径的弯曲	371
12.4.2	$r < 0.5t$ 无圆角半径或圆角半径很小的弯曲	373
12.5	弯曲模工作部分尺寸的确定	375
12.5.1	凸、凹模圆角半径	375
12.5.2	凹模深度	377
12.5.3	凸、凹模间隙	378
12.5.4	凸、凹模的宽度尺寸计算	379

13 拉深 380

13.1	拉深的变形过程	381
13.2	拉深过程中坯料内的应力与应变状态	383
13.3	拉深过程的力学分析	385
13.3.1	凸模变形区的应力分布	385
13.3.2	拉深时的拉深力	388
13.4	拉深工件的起皱与预防	389
13.5	圆筒形工件拉深工艺计算	393
13.5.1	圆筒形零件坯料尺寸计算	393
13.5.2	拉深系数与拉深次数	394
13.6	凸、凹模结构与工件部分尺寸	397
13.6.1	凸、凹模结构	397
13.6.2	凸、凹模的圆角半径	400
13.6.3	拉深模间隙	404
13.6.4	凸、凹模尺寸及制造公差	404

13.6.5	拉深凸模的出气孔	407
13.7	复杂形状工件的拉深	407
13.7.1	带凸缘圆筒形件的拉深	407
13.7.2	梯形圆筒件的拉深	411
13.8	变薄拉深	412
13.8.1	变薄拉深特点	412
13.8.2	变薄系数	414
13.8.3	变薄拉深工序计算程序	414

14 成形 420

14.1	胀形	420
14.1.1	起伏成形	420
14.1.2	圆柱形空心件的胀形	425
14.1.3	变形程度的计算	427
14.2	翻边	428
14.2.1	孔的翻边	429
14.2.2	外缘的翻边	436
14.2.3	变薄翻边	437
14.3	缩口	439
14.3.1	缩口变形程度的计算	440
14.3.2	缩口后材料厚度的变化	441
14.3.3	缩口力的计算	442

15 板料特种成形 444

15.1	旋压成形	444
15.1.1	不变薄旋压	445
15.1.2	变薄旋压	446
15.2	爆炸成形	449