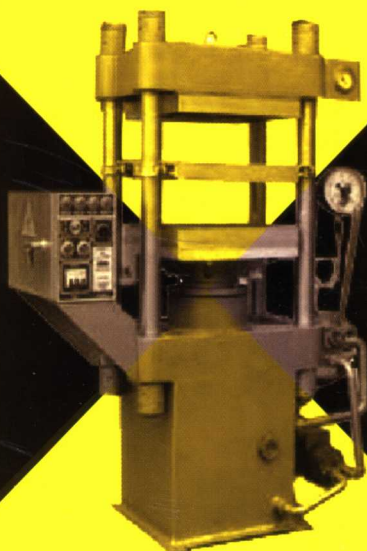


有色金属加工丛书

有色金属

× 挤压与拉拔技术 ×

温景林 丁桦 曹富荣 等编著



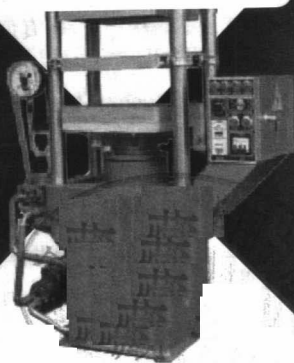
化学工业出版社

有色金属加工

有色金属

挤压与拉拔技术

温景林 丁桦 曹富荣 等编著



化学工业出版社

北京

本书主要介绍有色金属挤压方法与应用、材料组织与性能、挤压力计算、挤压工具设计、挤压机结构以及挤压工艺等；有色金属拉拔基本概念、拉拔基本理论、拉拔设备结构、模具设计以及拉拔工艺等。全书内容系统性、理论性及实用性较强，并纳入了挤压与拉拔技术的最新科研成果，反映了有色金属挤压与拉拔科学技术的发展水平。

本书可供从事有色金属材料及其加工成形的高等学校师生、科研院所研究人员以及企业工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

有色金属挤压与拉拔技术/温景林, 丁桦, 曹富荣等
编著. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

(有色金属加工丛书)

ISBN 978-7-122-00695-0

I. 有… II. ①温…②丁…③曹… III. ①有色金
属-挤压②有色金属-拉拔 IV. TG359 TG379

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 096689 号

责任编辑: 邢 涛

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 李 林

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 装: 北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 365 千字

2007 年 8 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

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，而又相互关联，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。

温景林

2007年5月

前 言

挤压与拉拔技术是金属材料工业生产、新材料制备及加工的重要方法,具有高效、优质、低能耗的少/无切削工艺特点。因此,在金属材料塑性加工领域得到迅速发展,特别是在有色金属管、棒、型、线材及零件生产方面获得了广泛应用。

挤压与拉拔技术的理论性与工艺性很强。

本书是在编著者多年教学和科研成果的基础上,结合有色金属挤压与拉拔技术领域最新进展和成果编写而成的。本书重点介绍挤压与拉拔工艺,使读者通过深入浅出的介绍对深奥的理论和复杂的工艺有一个全面而细致的了解,对实际工作有所裨益。

参加本书撰写的有丁桦(第11、12章)、曹富荣(第4、10章)、李俊鹏(第2章)、温景林(第1、2、3、5~9、13章),全书由温景林统稿。本书可供科研单位与工厂的科技人员和高等学校金属材料成形专业的师生参考。

由于编著者水平有限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2007年3月

目 录

第 1 篇 有色金属挤压

1 概述.....	3
1.1 挤压的基本概念	3
1.1.1 正向挤压	4
1.1.2 反向挤压.....	11
1.1.3 侧向挤压.....	12
1.1.4 连续挤压.....	13
1.1.5 静液挤压.....	16
1.1.6 等通道角挤压.....	17
1.1.7 半固态挤压.....	20
1.1.8 其他挤压.....	21
1.2 挤压的特点.....	26
1.3 挤压技术的发展史.....	27
1.4 合金的材料特性及用途.....	30
1.4.1 铝及铝合金.....	31
1.4.2 镁合金.....	32
1.4.3 铜及铜合金.....	33
1.4.4 钛及钛合金.....	34
1.4.5 镍及镍合金.....	35
1.4.6 复合材料.....	35

2 挤压时金属的流动 37

2.1 挤压时金属流动的特点.....	37
2.1.1 圆棒材正向挤压金属流动特点.....	37
2.1.2 实心型材正向挤压金属流动的特点.....	45
2.1.3 管材和空心型材正向挤压金属流动特点.....	47
2.1.4 反向挤压时金属的流动特点.....	48
2.2 影响金属挤压流动的因素.....	49
2.2.1 金属强度的影响.....	49
2.2.2 摩擦的影响.....	49
2.2.3 温度的影响.....	50
2.2.4 工具形状的影响.....	52
2.2.5 变形程度与挤压速度的影响.....	53
2.3 挤压金属流动模型.....	53

3 挤压制品的组织与性能 55

3.1 挤压制品的组织.....	55
3.1.1 挤压制品组织特征.....	55
3.1.2 挤压制品的层状组织.....	58
3.1.3 粗晶环.....	59
3.2 挤压制品力学性能.....	63
3.2.1 挤压制品力学性能特征.....	63
3.2.2 挤压效应.....	65
3.3 挤压制品裂纹.....	69
3.4 挤压缩尾.....	71
3.4.1 皮下缩尾.....	71
3.4.2 中心缩尾.....	72
3.4.3 环形缩尾.....	72

3.4.4 减少挤压缩尾的措施.....	73
----------------------	----

4 挤压力	74
--------------------	-----------

4.1 影响挤压力的因素.....	74
4.1.1 挤压温度的影响.....	74
4.1.2 坯料长度的影响.....	74
4.1.3 变形程度的影响.....	75
4.1.4 挤压速度的影响.....	75
4.1.5 模角的影响.....	76
4.1.6 摩擦的影响.....	76
4.2 挤压力计算.....	78
4.2.1 棒材单孔挤压力.....	79
4.2.2 型材挤压力计算.....	83
4.2.3 管材挤压力计算.....	83
4.2.4 反向挤压力计算.....	84
4.2.5 穿孔力计算.....	85
4.2.6 分流组合模挤压力计算.....	87
4.2.7 挤压力经验算式.....	89
4.2.8 连续挤压 (Conform) 力计算	90
4.2.9 连续铸挤 (Castex) 计算	92
4.2.10 等通道角挤压 (ECAP 或 ECAE) 力计算	97
4.2.11 挤压力计算简式与参数的确定.....	100

5 挤压设备.....	109
--------------------	------------

5.1 概述	109
5.2 挤压机类型	109
5.2.1 卧式和立式挤压机	109

5.2.2	单动式和复动式挤压机	111
5.2.3	长行程和短行程挤压机	111
5.2.4	正向和反向挤压机	113
5.2.5	水压机和油压机	114
5.3	挤压机结构	114
5.3.1	挤压机主机结构	114
5.3.2	挤压机主体结构	117
5.3.3	挤压机主体的辅助装置	119
5.3.4	挤压机液压传动装置与控制系统	127
5.4	挤压机主要部件计算	135
5.4.1	主缸的尺寸确定	135
5.4.2	主柱塞回程缸尺寸的确定	137
5.4.3	穿孔缸及穿孔柱塞回程缸尺寸的确定	137
5.4.4	张力柱及其螺母的计算	137
5.4.5	挤压机的主要技术参数	139
5.4.6	Conform 连续挤压机的结构	139
5.4.7	Castex 连续铸挤机的结构	149

6 挤压工具..... 152

6.1	挤压筒	153
6.1.1	挤压筒的结构	153
6.1.2	挤压筒的尺寸	155
6.1.3	挤压筒强度校核	157
6.2	挤压杆	160
6.2.1	挤压杆结构与尺寸	160
6.2.2	挤压杆强度校核	161
6.3	挤压垫片	162
6.3.1	自由式挤压垫片	162
6.3.2	固定式挤压垫片	164

6.4	穿孔针	165
6.4.1	柱式穿孔针	165
6.4.2	瓶式穿孔针	165
6.4.3	浮动穿孔针	166
6.4.4	穿孔针的强度校核	168
6.5	挤压模	170
6.5.1	挤压模的类型	170
6.5.2	挤压模设计	173
6.5.3	典型模具设计	199
6.5.4	挤压模 CAD/CAM	213
6.5.5	模具制造	216
6.5.6	模具的寿命	220

7 挤压工艺..... 226

7.1	锭坯尺寸的选择	226
7.1.1	锭坯尺寸选择的原则	226
7.1.2	挤压比 λ 的选择	227
7.1.3	锭坯长度的确定	228
7.2	挤压温度与速度的选择	228
7.2.1	挤压温度的选择	229
7.2.2	挤压速度和金属流出速度的选择	232
7.2.3	挤压优化	233
7.3	挤压润滑	236
7.3.1	选择润滑剂的原则	236
7.3.2	润滑剂的选择	237
7.4	轻金属挤压	238
7.4.1	轻金属的挤压方法	238
7.4.2	轻金属挤压的工艺参数	238
7.5	重金属挤压	239

7.5.1	重金属的挤压方法	240
7.5.2	重金属挤压工艺参数	240
7.6	稀有金属挤压	241
7.6.1	稀有金属挤压的工艺特点	241
7.6.2	稀有金属挤压工艺及工艺参数	242
7.7	连续挤压与连续铸挤技术	246
7.7.1	Conform 连续挤压	246
7.7.2	Castex 连续铸挤	250

第2篇 金属拉拔

8 概述..... 257

8.1	拉拔的一般概念	257
8.1.1	拉拔的实质	257
8.1.2	拉拔分类	257
8.2	拉拔法的特点	260
8.3	拉拔历史与发展趋向	260
8.3.1	拉拔历史	260
8.3.2	拉拔技术发展趋向	262

9 拉拔基础..... 263

9.1	拉拔时的变形指数	263
9.2	实现拉拔过程的基本条件	264
9.3	拉拔时的应力与变形	266
9.3.1	圆棒拉拔时的应力与变形	266
9.3.2	管材拉拔时的应力与变形	274
9.4	拉拔制品中的残余应力	289
9.4.1	残余应力的分布	289

9.4.2 残余应力的消除	292
---------------------	-----

10 拉拔力 296

10.1 各种因素对拉拔力的影响	296
10.1.1 被加工金属的性质对拉拔力的影响	296
10.1.2 变形程度对拉拔力的影响	296
10.1.3 模角对拉拔力的影响	296
10.1.4 拉拔速度对拉拔力的影响	297
10.1.5 摩擦与润滑对拉拔力的影响	297
10.1.6 反拉力对拉拔力的影响	299
10.1.7 振动对拉拔力的影响	301
10.2 拉拔力的实测与理论计算	303
10.2.1 拉拔力实测	303
10.2.2 拉拔力的理论计算	304
10.3 拉拔力的计算例题	315

11 拉拔工具 321

11.1 拉拔模	321
11.1.1 普通拉模	321
11.1.2 辊式拉模	327
11.1.3 旋转模	327
11.2 芯头	328
11.2.1 芯头的结构与尺寸	328
11.2.2 芯头的材料	332

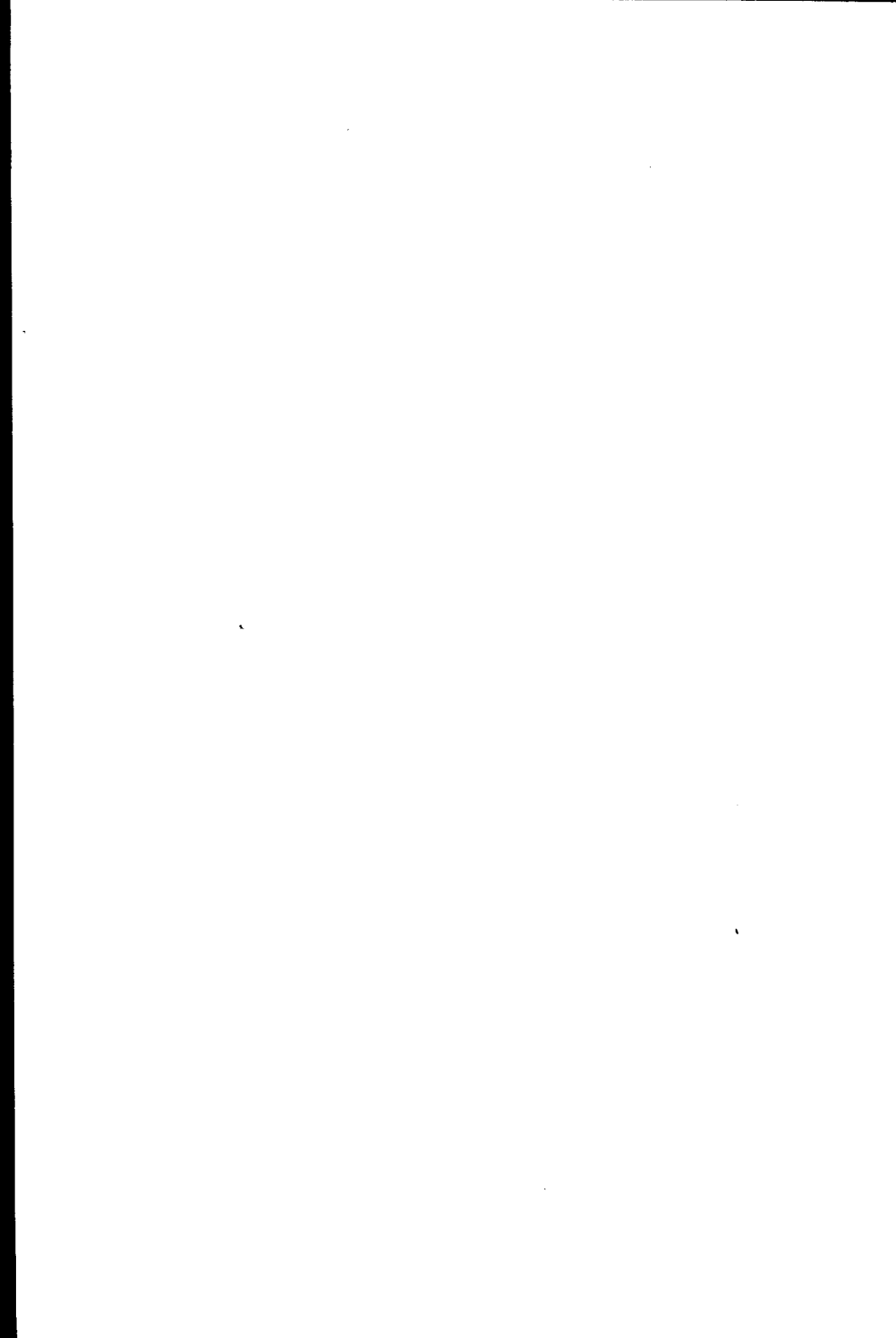
12 拉拔设备 333

12.1 管棒型材拉拔机	333
--------------------	-----

12.1.1	链式拉拔机	333
12.1.2	联合拉拔机列	335
12.1.3	圆盘拉拔机	339
12.2	拉线机	341
12.2.1	单模拉线机	342
12.2.2	多模连续拉线机	342
13	拉拔工艺	351
13.1	拉拔配模	351
13.1.1	拉拔配模分类	351
13.1.2	拉拔配模设计的原则	352
13.1.3	拉拔配模设计的内容	352
13.1.4	配模设计	360
13.1.5	典型拉拔配模	396
13.2	拉拔润滑	401
13.2.1	拉拔润滑剂的要求	401
13.2.2	拉拔润滑剂的种类	401
13.3	拉拔制品的主要缺陷	407
13.3.1	实心材的主要缺陷	407
13.3.2	管材制品的主要缺陷	409
13.3.3	生产中拉拔制品的缺陷	409
13.4	其他拉拔方法	410
13.4.1	无模拉拔	410
13.4.2	玻璃膜金属液抽丝	412
13.4.3	静液挤压拉线	412
	参考文献	414

第 1 篇

有色金属挤压



1 概述

1.1 挤压的基本概念

挤压是采用挤压杆（或凸模）将放在挤压筒（或凹模）内的坯料压出模孔，获得一定端面形状和尺寸的塑性加工方法。

挤压可以生产管、棒、型、线材以及各种机械零件等。挤压类型可分许多种。

按金属流动及变形特征分类，有正向挤压、反向挤压、侧向挤压、连续挤压及特殊挤压。特殊挤压包括静液挤压、有效摩擦挤压、扩展模挤压、半固态挤压等。

按挤压温度分类，有热挤压、温挤压及冷挤压。热挤压和冷挤压是挤压的两大分支，在冶金工业系统主要应用热挤压，图 1-1 为典型的基本挤压方法。机械工业系统主要应用冷挤压与温挤压。本

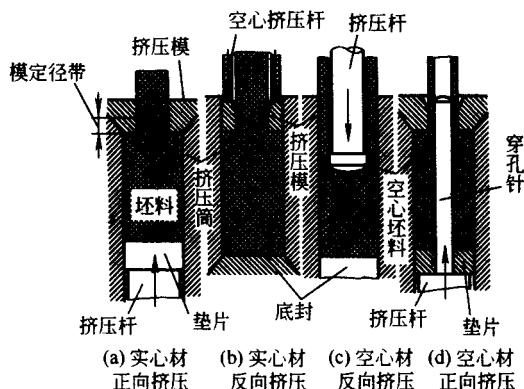


图 1-1 典型的基本挤压方法