

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Al 中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会组织编写

铝挤压生产技术

崔立新 编写组主任

张宏辉 王孟君 李旭 主编

Nonferrous Metals



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



山东创新合金研究院
www.sdcxjt.com

013047910

TG379
07

“十一五”国家重点图书出版规划项目



铝挤压生产技术

中国有色金属工业协会组织编写

崔立新 编写组主任

张宏辉 王孟君 李旭 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



北航

C1655641

TG379
07

010520210

图书在版编目(CIP)数据

铝挤压生产技术/张宏辉,王孟君,李旭主编. —长沙:中南大学出版社,2013.5
ISBN 978-7-5487-0879-7

I. 铝... II. ①张... ②王... ③李... III. 铝-金属制品-挤压-生产工艺 IV. TG379
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 101551 号

铝挤压生产技术

张宏辉 王孟君 李 旭 主编

☐责任编辑 刘颖维

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市华中印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 9 ☐字数 224 千字

☐版 次 2013 年 5 月第 1 版 ☐2013 年 5 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0879-7

☐定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

中国有色金属丛书



NMS 编委会

主任:

康 义

中国有色金属工业协会

常务副主任:

黄伯云

中南大学

副主任:

熊维平

中国铝业公司

罗 涛

中国有色矿业集团有限公司

李福利

中国五矿集团公司

李贻煌

江西铜业集团公司

杨志强

金川集团有限公司

韦江宏

铜陵有色金属集团控股有限公司

何仁春

湖南有色金属控股集团有限公司

董 英

云南冶金集团总公司

孙永贵

西部矿业股份有限公司

余德辉

中国电力投资集团公司

屠海令

北京有色金属研究总院

张水鉴

中金岭南有色金属股份有限公司

张学信

信发集团有限公司

宋作文

南山集团有限公司

雷 毅

云南锡业集团有限公司

黄晓平

陕西有色金属控股集团有限公司

王京彬

有色金属矿产地质调查中心

尚福山

中国有色金属工业协会

文献军

中国有色金属工业协会

委员(以姓氏笔划排序):

马世光

中国有色金属工业协会加工工业分会

马宝平

中国有色金属工业协会铝业分会

王再云

中铝山东分公司

王吉位

中国有色金属工业协会再生金属分会

王华俊

中国有色金属工业协会

王向东

中国有色金属工业协会钛锆铅分会

王树琪

中条山有色金属集团有限公司

王海东
乐维宁
许健
刘同高
刘良先
刘柏禄
刘继军
李宁
李凤轶
李阳通
李沛兴
李旺兴
杨超
杨文浩
杨安国
杨龄益
吴跃武
吴锈铭
邱冠周
冷正旭
汪汉臣
宋玉芳
张麟
张创奇
张洪国
张洪恩
张培良
陆志方
陈成秀
武建强
周江
赵波
赵翠青
胡长平
钟卫佳
钟晓云
段玉贤
胥力
黄河
黄粮成
蒋开喜
傅少武
瞿向东

中南大学出版社
中铝国际沈阳铝镁设计研究院
中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
厦门钨业集团有限公司
中国钨业协会
赣州有色冶金研究所
荏平华信铝业有限公司
兰州铝业股份有限公司
西南铝业(集团)有限责任公司
柳州华锡集团有限责任公司
白银有色金属股份有限公司
中铝郑州研究院
云南铜业(集团)有限公司
甘肃稀土集团有限责任公司
河南豫光金铅集团有限责任公司
锡矿山闪星锑业有限责任公司
洛阳有色金属加工设计研究院
中国有色金属工业协会镁业分会
中南大学
中铝山西分公司
宝钛集团有限公司
江西钨业集团有限公司
大冶有色金属有限公司
宁夏东方有色金属集团有限公司
中国有色金属工业协会
河南中孚实业股份有限公司
山东丛林集团有限公司
中国有色工程有限公司
厦门厦顺铝箔有限公司
中铝广西分公司
东北轻合金有限责任公司
中国有色金属工业协会
中国有色金属工业协会
中国有色金属工业协会
中铝洛阳铜业有限公司
江西稀有稀土金属钨业集团公司
洛阳栾川钼业集团有限责任公司
遵义钛厂
中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
中铝国际贵阳铝镁设计研究院
北京矿冶研究总院
株洲冶炼集团有限责任公司
中铝广西分公司

中国有色金属丛书



NMS 学术委员会

主任:

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

常务副主任:

黄伯云 院士 中南大学

副主任(按姓氏笔划排序):

于润沧	院士	中国有色工程有限公司
古德生	院士	中南大学
左铁镛	院士	北京工业大学
刘业翔	院士	中南大学
孙传尧	院士	北京矿冶研究院
李东英	院士	北京有色金属研究总院
邱定蕃	院士	北京矿冶研究院
何季麟	院士	宁夏东方有色金属集团有限公司
何继善	院士	中南大学
汪旭光	院士	北京矿冶研究院
张文海	院士	南昌有色冶金设计研究院
张国成	院士	北京有色金属研究总院
陈景	院士	昆明贵金属研究所
金展鹏	院士	中南大学
周廉	院士	西北有色金属研究院
钟掘	院士	中南大学
黄培云	院士	中南大学
曾苏民	院士	西南铝加工厂
戴永年	院士	昆明理工大学

委员(按姓氏笔划排序):

卜长海	厦门厦顺铝箔有限公司
于家华	遵义钛厂
马保平	金堆城钼业集团有限公司
王辉	株洲冶炼集团有限责任公司
王斌	洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑莆	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限责任公司
戴云俊	锡矿山闪星锑业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，10种有色金属总产量2 520万吨，连续7年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km/h高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业

已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了全面提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

康萌

2009年3月

前 言

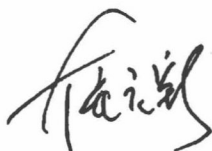
铝行业是我国国民经济发展的一个支柱性产业,发展十分迅速,到2012年,我国原铝的产量已达2100余万吨。山东已成为我国第一产铝大省(2012年1—11月累计产铝375万吨),其次是河南、内蒙古、青海、甘肃和宁夏等地区,这6个省区的铝产量占全国总产量的70%以上。目前,这些产铝资源大省,正向着铝加工行业快速发展。

据不完全统计,我国挤压机台数达5000余台,居世界第一,我国已成为全球最大的铝挤压材生产国。工业铝挤压材生产主要集中在内地和北方地区,各种类型的挤压机和生产线在北方地区迅速建成,并有不断扩大的趋势。100 MN、125 MN以上的大挤压机生产线主要集中在内地和北方地区,山东省已建成的就有4条生产线。

目前,我国正在掀起铝挤压加工业发展的第三次高潮,面对大型飞机、高铁、轨道交通、汽车、航空航天、电力、国防军工等高新技术产业不断提出的新要求,必须提高铝挤压产品的技术含量和附加值。为了适应铝挤压工业的飞速发展,山东创新合金研究院与中南大学联合编写了《铝挤压生产技术》一书,本书编写组主任为崔立新,由山东创新合金研究院张宏辉高级工程师和李旭总工程师、中南大学王孟君教授负责编写,全书共分7章,由王孟君教授负责全书统稿。本书是中国有色金属丛书之一,作者根据多年来的生产和技术开发经验,着重介绍了铝及铝合金的材料学知识、铝合金熔炼与铸造技术,铝合金挤压变形形为,国内外最新铝挤压设备及其特点,铝挤压工模具技术和铝挤压车间加热设备等。望能成为铝挤压加工企业的生产技术工人、工程技术人员和高校师生的有益参考书。

在编写本书过程中引用了国内外专家学者和工程技术人员许多宝贵的资料和成果,在此向他(她)们表示深深的谢意。

由于作者水平有限,编写时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请各位专家和企业界同仁提出宝贵意见。



2013年4月

目 录



第1章 铝合金挤压概述	1
1.1 金属塑性加工	1
1.1.1 金属塑性加工及其分类	1
1.1.2 塑性加工的特点	1
1.2 铝合金挤压	1
1.2.1 铝挤压的优缺点	1
1.2.2 铝挤压的分类	3
1.3 铝合金挤压制品典型生产流程	4
1.4 铝合金挤压技术的发展趋势	6
1.4.1 挤压设备大型化、现代化和生产线自动化	6
1.4.2 特种工模具技术的突破性进展	6
1.4.3 挤压工艺不断改进和完善	7
1.4.4 铝挤压材的产品结构不断改进	7
第2章 铝合金挤压的材料学基础	8
2.1 铝及铝合金的分类	8
2.2 各系铝合金简介	9
2.2.1 1×××系铝合金	9
2.2.2 2×××系铝合金	10
2.2.3 3×××系铝合金	11
2.2.4 4×××系铝合金	11
2.2.5 5×××系铝合金	12
2.2.6 6×××系铝合金	12
2.2.7 7×××系铝合金	14
2.2.8 8×××系铝合金	14
2.3 材料的结构	14
2.3.1 晶体结构	15
2.3.2 晶体结构的不完整性	16
2.4 相和组织	18
2.4.1 相	18
2.4.2 二元系	18

2.4.3	多元系	20
2.5	扩散	21
2.6	材料的结晶	21
2.6.1	金属结晶的基本规律	21
2.6.2	晶核的形成	21
2.6.3	晶核的长大	22
2.7	金属多晶体塑性变形	22
2.7.1	塑性指标	22
2.7.2	多晶体塑性变形的特点	23
2.8	材料的性能	24
2.8.1	力学性能	24
2.8.2	物理性能	25
2.8.3	化学性能	28
2.9	铝合金的析出和强化	29
第3章	铝合金熔炼与铸造	31
3.1	铝及铝合金的熔炼	31
3.1.1	熔炼目的	31
3.1.2	铝及铝合金的熔炼特点	31
3.2	铝及铝合金熔体净化	32
3.2.1	铝及铝合金熔铸过程中易产生的缺陷	32
3.2.2	熔体净化的目的和意义	33
3.2.3	熔体净化的分类	33
3.2.4	炉内净化方法	33
3.2.5	炉外净化方法	34
3.3	铝及铝合金的铸造	34
3.3.1	铸造概述	34
3.3.2	连续(或半连续)铸造	35
3.4	铸锭的结晶和组织	38
3.4.1	凝固与结晶	38
3.4.2	凝固过程的热交换	38
3.4.3	热平衡	38
3.4.4	结晶前沿、两相区、过渡带	39
3.4.5	液穴形状和深度	40
3.4.6	结晶速度	40
3.4.7	结晶前沿的过冷	40
3.4.8	金属凝固过程及影响因素	41
3.4.9	外层硬壳和外层偏析	42
3.4.10	铸锭表面	43

3.4.11	铸造晶粒、晶胞组织和中间相	44
3.4.12	铸锭的典型结晶组织	44
3.4.13	铸锭的均匀化退火	46
第4章	铝合金挤压的变形行为	47
4.1	挤压时的金属流动	47
4.1.1	挤压变形过程	47
4.1.2	影响金属流动的因素	50
4.1.3	挤压缩尾	52
4.2	挤压应力和挤压力	54
4.2.1	挤压应力	54
4.2.2	挤压力	55
4.2.3	影响挤压力的主要因素	55
4.3	挤压温度与速度条件	56
4.3.1	挤压温度	56
4.3.2	挤压速度和金属流出速度	57
4.3.3	挤压优化	58
4.4	挤压制品的组织与性能	59
4.4.1	挤压制品的组织	59
4.4.2	挤压制品的力学性能	60
4.5	挤压焊合	62
4.5.1	空心型材的纵向焊合	63
4.5.2	横向焊合	64
4.5.3	挤压焊合的检测	65
4.5.4	挤压焊合对表面外观的影响	66
4.6	型材表面缺陷	66
4.7	几个铝挤压变形参数计算	66
第5章	铝合金正向挤压机和反向挤压机	71
5.1	挤压机概况	71
5.1.1	挤压机发展概况	71
5.1.2	现代挤压机的特点	71
5.1.3	挤压机的分类	72
5.2	铝合金正向挤压机	72
5.2.1	正向卧式单动挤压机	72
5.2.2	正向卧式双动挤压机	74
5.2.3	正向挤压机设计	74
5.2.4	正向挤压机主要组件	76
5.2.5	部分先进挤压机组件介绍	78
5.2.6	正向挤压机的辅助组件	83

5.3 铝合金反向挤压机	84
5.3.1 反向挤压机概述	84
5.3.2 反向挤压机的分类	85
5.3.3 现代反向挤压机的基本要求	87
5.3.4 典型反向挤压机主要工艺参数	87
第6章 铝挤压工模具	89
6.1 工模具在铝型材挤压中的重要作用	89
6.2 挤压工模具技术发展概况	90
6.3 挤压工模具材料及合理选择	90
6.3.1 挤压工模具材料的要求	90
6.3.2 挤压工模具材料的合理选择	91
6.4 挤压模具的分类和组装	92
6.4.1 挤压模具的分类	92
6.4.2 挤压模具的组装	93
6.5 模具与挤压筒之间的密封	96
6.6 模具的典型结构要素	97
6.7 模具设计的原则与步骤	98
6.8 平面分流模设计	100
6.8.1 一般结构	100
6.8.2 结构要素设计	100
6.8.3 强度校核	104
6.9 模具组件的弯曲变形	105
第7章 铝挤压车间加热系统	107
7.1 感应炉	107
7.1.1 感应加热原理	107
7.1.2 单锭坯感应加热炉	109
7.1.3 多锭坯感应加热炉	109
7.1.4 带热保温炉的感应炉	110
7.1.5 带热棒剪的感应炉	110
7.2 锭坯加热燃气炉	111
7.2.1 带锭坯预热的快速加热燃气炉	111
7.2.2 感应炉和快速加热燃气炉组合	112
7.3 模具加热炉	113
7.4 铝合金时效炉	113
7.5 立式淬火炉	114
附录	116
参考文献	130

第1章 铝合金挤压概述

1.1 金属塑性加工

1.1.1 金属塑性加工及其分类

金属塑性加工是使金属在外力(通常是压力)作用下,产生塑性变形,获得所需形状、尺寸和组织、性能的制品的一种基本的金属加工技术,以往常称压力加工。

金属塑性加工的种类很多,根据加工时工件的受力和变形方式,基本的塑性加工方法有锻造、轧制、挤压、拉拔、拉深、弯曲、剪切等几类。其中锻造、轧制和挤压是依靠压力作用使金属发生塑性变形;拉拔和拉深是依靠拉力作用发生塑性变形;弯曲是依靠弯矩作用使金属发生弯曲变形;剪切是依靠剪切力作用产生剪切变形或剪断。锻造、挤压和一部分轧制多半在热态下进行加工;拉拔、拉深和一部分轧制,以及弯曲和剪切是在室温下进行的。

1.1.2 塑性加工的特点

金属塑性加工与金属铸造、切削、焊接等加工方法相比,有以下特点:

①金属塑性加工是金属整体性保持的前提下,依靠塑性变形发生物质转移来实现工件形状和尺寸变化的,不会产生切屑,因而材料的利用率高得多。

②塑性加工过程中,除尺寸和形状发生改变外,金属的组织、性能也能得到改善和提高,尤其对于铸造坯,经过塑性加工将使其结构致密、粗晶破碎细化和均匀,从而使性能提高。此外,塑性流动所产生的流线也能使其性能得到改善。

③塑性加工过程便于实现生产过程的连续化、自动化,适于大批量生产,如轧制、拉拔加工等,因而劳动生产率高。

④塑性加工产品的尺寸精度和表面质量高。

⑤设备较庞大,能耗较高。

金属塑性加工由于具有上述特点,不仅原材料消耗少、生产效率高、产品质量稳定,而且还能有效地改善金属的组织性能。这些技术上和经济上的独到之处和优势,使它成为金属加工中极其重要的手段之一,因而在国民经济中占有十分重要的地位。

1.2 铝合金挤压

1.2.1 铝挤压的优缺点

挤压是使装入挤压筒内的坯料,在挤压筒一端挤压轴的推力作用下,使金属从挤压筒某

一端的模孔流出,而获得与挤压模孔形状、尺寸相同的产品的一种塑性加工方法,如图1-1所示。

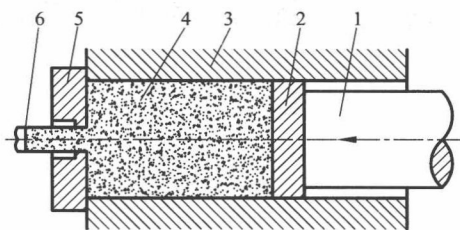


图1-1 金属挤压的基本原理

1—挤压轴;2—挤压垫片;3—挤压筒;4—坯料;5—挤压模;6—挤压制品

挤压加工在铝合金工业体系中占有特殊的地位。这是因为近些年来随着科学技术的不断进步和国民经济的飞速发展,使用部门对铝合金产品的精度、形状、表面光洁度和组织性能等各种质量指标提出了新的要求。而向用户供应符合各种质量要求的铝合金产品,和其他压力加工方法(如轧制、锻造等)相比,采用挤压加工技术生产具有更大的优越性和可靠性。归纳起来,挤压加工有下列特点:

①在挤压过程中,被挤压金属在变形区能获得比轧制、锻造更为强烈和均匀的三向压缩应力状态,可充分发挥被加工金属本身的塑性。因此,用挤压法可加工那些用轧制法或锻造法加工有困难甚至无法加工的低塑性难变形金属或合金。对于某些必须用轧制或锻造法进行加工的材料,如7A04、7075、5A06等合金的锻件等,也常用挤压法先对铸锭进行开坯,以改善其组织,提高其塑性。

②挤压法不但可以生产断面形状较简单的管、棒、型、线产品,而且可生产断面变化、形状极复杂的型材和管材,如阶段变断面型材、逐渐变断面型材、带异形加强筋的整体壁板型材、形状极其复杂的空心型材和变断面管材、多孔管材等。这类产品用轧制法或其他压力加工方法生产是很困难的,甚至是不可能的。

③挤压加工灵活性很大,只需要更换模子等挤压工具即可在一台设备上生产形状、规格和品种不同的制品,更换挤压工具的操作简便易行、费时少、工效高。这种加工方法对订货批量小、品种规格多的铝合金材料加工生产厂最为经济适用。

④挤压制品的精度比热轧、锻造产品的高,制品表面品质也较好。随着工艺水平的提高和模具品质的改进,现已能生产壁厚为0.15 mm、表面粗糙度达 $Ra0.8 \sim 1.8 \mu m$ 的超薄、超高精度、高品质表面的型材。

⑤对某些具有挤压效应的铝合金来说,其挤压制品在淬火时效后,纵向强度性能远比其他方法加工的同类产品要高。

⑥工艺流程简短、生产操作方便,一次挤压即可获得比热模锻或成形轧制等方法面积更大的整体结构部件,而且设备投资少、模具费用低、经济效益高。

综上所述,用挤压法生产铝合金制品具有突出的优点,但仍存在几何废料损失较大,挤压速度远低于轧制速度,生产效率低,沿长度和断面上组织和性能的不均匀程度较大,挤压力大,工模具消耗量较大等尚待改进的缺点。随着现代科技迅猛发展、新挤压工艺、设备和

新结构模具的出现,上述问题逐渐被解决,尤其对铝合金来说,挤压加工方法仍不失为一种确保产品品质、综合效益最好的先进塑性加工方法。

1.2.2 铝挤压的分类

按成形时的温度,铝挤压可分为热挤压、温挤压和冷挤压三种。其中热挤压主要用于大型坯锭,以获得具有相当长度的棒材或各种型材的半成品;温挤压和冷挤压则主要用于小型坯锭,以获得成品零件或只需进行少量机械加工的半成品件。

根据金属的流动方向与挤压轴运动方向的关系,铝挤压又可分为正挤压、反挤压、Conform 连续挤压法等,如图 1-2 所示。

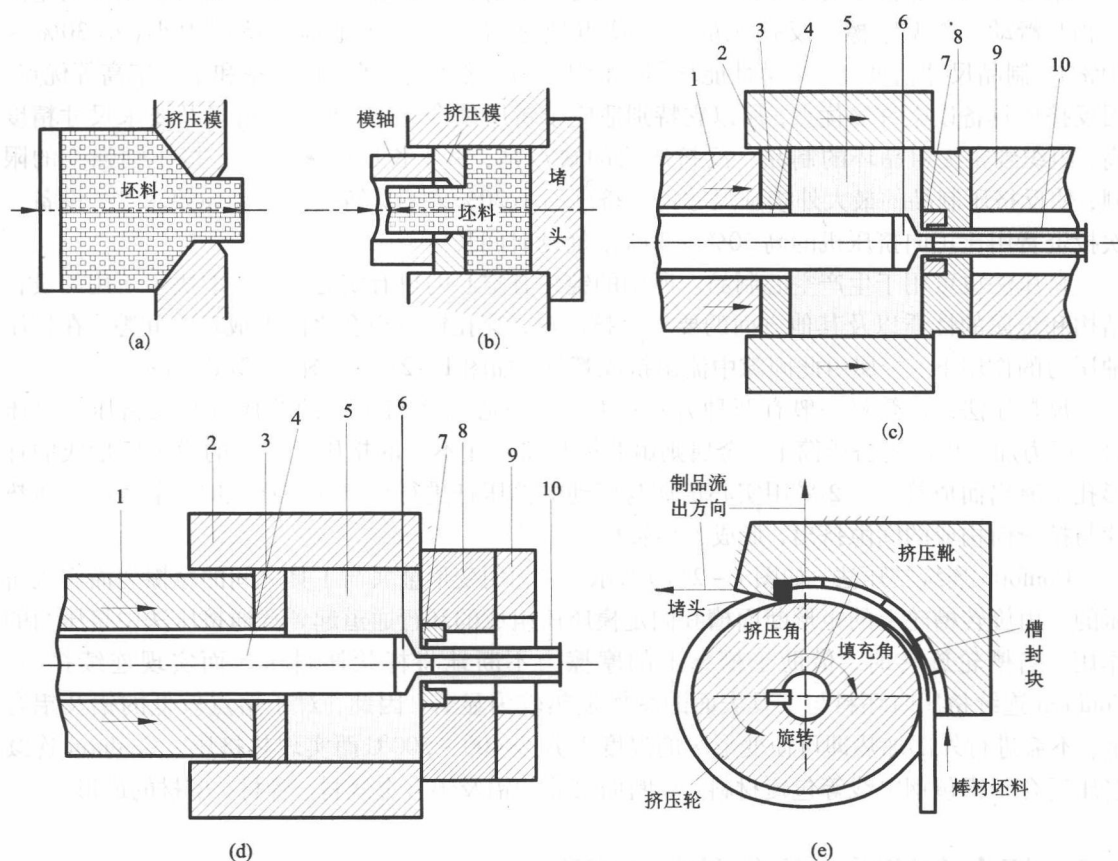


图 1-2 铝加工中常用的挤压方法

(a) 正挤压法; (b) 型、棒材反向挤压法; (c) 管材反向挤压法; (d) 管材正向挤压法; (e) Conform 连续挤压法;

1—空心挤压轴; 2—挤压筒; 3—挤压垫; 4—穿孔系统; 5—锭坯; 6—针尖;

7—管材模; 8—模套; (c) 9—模子挤压轴(反挤); (d) 9—支撑环(正挤); 10—管材

正挤压时,如图 1-2(a)所示,金属的流动方向与挤压轴的运动方向相同,其最主要的特征是金属与挤压筒内壁件有相对滑动,故存在很大的外摩擦,摩擦力的作用方向与金属运动方向相反。正挤压与反挤压相比较有以下优点: 更换工具简单、迅速; 辅助时间少; 制品