

LIJIAGONG JISHU SHIYONG SHOUC

铝加工技术实用手册

主 编 肖亚庆
副主编 谢水生
刘静安
王 涛



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

LUJIAGONG JISHU SHIYONG SHOUCE

铝加工技术实用手册

主 编 肖亚庆
副主编 谢水生
刘静安
王 涛

北 京

冶金工业出版社

2005

内 容 简 介

本《手册》是由中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社组织,国内 20 多家主要的铝加工企业、科研院所、大专院校的百余名专家、学者和工程技术人员合作撰写的大型实用性工具书。

《手册》全面地总结了我国近 20 年来铝加工工业,特别是铝加工技术方面所取得的成就和经验,系统地介绍了铝加工工业的生产工艺、技术和装备,尤其对铝加工工业的新材料、新工艺、新技术和新设备进行了详细的介绍,内容丰富,实用性强。

《手册》共分 11 篇 61 章。第 1 篇绪论;第 2 篇变形铝合金;第 3 篇铝合金的熔炼与铸造技术;第 4 篇铝合金板、带、箔材生产技术;第 5 篇铝合金管、棒、型、线材生产技术;第 6 篇锻压生产技术;第 7 篇其他铝合金材料生产技术;第 8 篇铝材深加工技术;第 9 篇铝加工测试技术与设备;第 10 篇铝加工环境保护及安全卫生技术;第 11 篇有关标准目录总汇。

本《手册》是铝加工企业及科研院所的工程技术人员和研究人员必备的工具书;也可供从事金属材料生产、科研、设计、产品开发与深加工的技术人员阅读;并可作为大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

铝加工技术实用手册/肖亚庆主编,谢水生、刘静安、
王涛副主编. —北京:冶金工业出版社,2005.1
ISBN 7-5024-3559-X

I. 铝… II. ①肖… ②谢… ③刘… ④王…
III. 铝—金属加工—技术手册 IV. TG146.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 050395 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

策划编辑 谭学余 张登科

责任编辑 张登科 李培禄 美术编辑 王耀忠

责任校对 侯 珺 李文彦 责任印制 牛晓波

北京市铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005 年 1 月第 1 版, 2005 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 75.75 印张; 2028 千字; 1182 页

248.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序

铝工业的整个发展历史不过两百年,但由于铝及其合金具有一系列优异特性,发展速度非常快,铝材已广泛用于交通运输、包装容器、建筑装饰、航空航天、机械电器、电子通讯、石油化工、能源动力、文体卫生等行业,成为发展国民经济与提高人民物质文化生活水平的重要基础材料。2003 年全球铝(含再生铝)的产、销量已逾 3800 万 t/a,铝材产、销量达 2800 万 t/a 左右。其中,中国的原铝产量达 560 万 t/a,超过美国,居世界第一,铝材产、销量逾 400 万 t/a,居世界第二,而且产、销量正以比世界平均年增长率大得多的速度增长。中国已成为名副其实的铝业大国。

我作为一名在有色金属战线工作了半个多世纪的科技工作者,亲身经历和目睹了我国铝科技和铝工业从无到有、从小到大、从分散落后到规模大、水平高的发展过程,特别是改革开放 20 多年来,不仅铝材的产能和产量增加了 10 多倍(与 1980 年相比),而且,工艺装备、技术、产品品种和质量也有了长足的进步,让人感到由衷的高兴。但是,我们应该清楚地看到,中国的铝工业及技术与国外先进水平相比仍有较大的差距,还不是铝冶金和铝材加工的强国。

为了充分利用和合理调配资源,加强发展我国铝及铝材加工产业,确立我国在全球的铝业大国和铝业强国地位,科学地、实事求是地研究世界铝工业的发展历史、现状和趋势;高瞻远瞩地介绍和预测铝材在国民经济和人民生活各方面的地位和应用情况;全面系统地总结和讨论我国各个发展时期铝加工工业及技术方面取得的经验、成绩、成果及失误与教训;深入分析和讨论铝材的生产技术、工艺装备与产品研制开发等问题是十分必要和非常重要的,也是一项具有现实意义和深远意义的事情。1979 年由原冶金工业部组织、冶金工业出版社出版的《轻金属材料加工手册》曾凝聚了我国有色金属行业老一辈科技工作者的聪明才智,对我国有色金属工业及技术的迅猛发展,起到了重要的推动作用。但这部《手册》主要是总结和讨论了我国建国初到 20 世纪 70 年代,即我国铝加工第一次发展高潮时期的情况及当时的国际发展水平。从 1980 年到今天的 20 多年间,铝加工工业及加工技术发生了巨大的变化,中国也经历了铝加工第二次和第三次发展高潮,无论是工业装备、产业规模、产品品种和质量等都有了质的飞跃,而且涌现出了大量新材料、新工艺、新技术和新设备,原《手册》已不能准确反映新世纪铝加工工业和技术的基本面貌,不能指导其向前发展。

目前,我国从事铝材加工的生产、设计、科研以及大专院校的教学人员,铝材的使用者和其他广大读者都迫切渴望有一本能全面、系统地反映世界,特别是中国当今铝加工工业及铝加工技术发展状态和水平的实用性手册,以进一步推动铝加工科技进步,满足我国铝加工工

业和技术蓬勃发展的需要。为此,中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社一起组织国内有志于振兴我国铝加工工业的专家、学者,特别是长期在生产第一线工作的工程技术人员 100 余人,由肖亚庆同志主编,谢水生、刘静安、王涛同志为副主编,经过众编者两年多的辛勤劳动和艰苦努力,编著了《铝加工技术实用手册》这本约 200 万字的大型工具书,可以不夸张地说,这是一部鸿篇巨著。

《铝加工技术实用手册》是一部融科学性、先进性和实用性于一体的大型工具书,内容丰富、全面、系统,不仅详尽地介绍和阐述了铝及铝合金的成分与性能,熔炼与铸造技术,板、带、条、箔、管、棒、型、线、锻件与模压件、粉材等产品的生产技术、产品标准、质量分析和检测技术、产品的表面处理、接合及其他深加工技术,而且详细地介绍了铝加工的工艺装备、环保安全和废铝回收与综合利用等。此外,对铝材的开发与应用、铝加工工业与技术的发展趋势也做了精辟的分析。《手册》的先进性表现在取材新颖,囊括了当今世界几乎所有的最新铝加工先进技术,如最先进的铝熔体净化、晶粒细化和高效熔铸技术;薄板高速铸轧技术,热连轧技术;铝合金厚板淬火与拉伸技术;特种大型铝材挤压技术;大型扁挤压筒与特种模具设计技术;粉末冶金与铝基复合材料生产技术;有效摩擦反向挤压技术;半固态铝合金加工技术以及铝加工装备最新控制技术等。《手册》的科学性和实用性是基于大部分内容是由长期工作在生产和科研第一线的工程技术人员和科研人员撰写,取材实用,数据翔实可靠,其中大部分是撰写者本人长期从事铝加工生产技术的现场实践经验总结、统计分析及所取得的科技成果和成就;小部分则取之于有关生产、科研、设计、使用、维护单位的经过实践检验的数据。这些技术和数据都可直接应用于生产、科研与设计之中。

总之,《铝加工技术实用手册》的编成和出版是一项巨大的系统工程,它是我国产业界、学术界和出版界大力协作的产物,是全国铝加工系统广大科技人员和工人多年辛勤劳动的结晶和聪明才智的集中表现,也是我国近几十年来铝加工工业与技术发展的真实写照。在这部巨著即将出版之际,我们怀着激动的心情向全体编写人员、出版人员、广大支持编写出版工作的单位和个人表示诚挚的感谢,感谢他们的辛勤劳动,感谢他们为我国铝加工工业与技术进步做了一件有深远意义的工作,为我国铝加工领域又增添了一部符合国情、很有实用价值的好书。

当然,铝加工工业和技术正处于蓬勃发展阶段,《手册》不可能囊括所有东西,局限之处在所难免,参加撰写的各位作者当然希望有更多的著作来丰富和补充铝加工工业的知识宝库。

中国工程院常务副院长 院士
中国科学院 院士

王涛佐

2004 年 10 月

前言

近 20 年来,铝及铝合金加工技术发展迅猛,加工产品的质量和产量不断提高,我国铝合金加工材的年生产能力从 1980 年不到 30 万 t 发展到 2004 年的 500 万 t 以上。同时,出现了许多新材料、新技术、新工艺、新设备。1979 年出版的《轻合金材料加工手册》已经不能适应迅速发展的铝加工工业的需要。为了系统地总结我国铝加工工业近 20 年来的进展,特别是铝加工技术方面所取得的成就和经验,进一步推动我国有色金属科技进步,促进铝加工工业和技术的发展,满足有色金属行业,特别是满足铝加工行业读者的需要,中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社一起,共同组织国内铝加工行业众多专家、学者和生产第一线的工程技术人员编撰了这本《铝加工技术实用手册》(以下简称《手册》)。

中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社于 2001 年 9 月在北京联合召开了《手册》第一次编撰工作会议。参加会议的有:冶金工业出版社、北京有色金属研究总院、中色科技股份有限公司(原洛阳有色金属加工设计研究院)、西南铝业(集团)有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、兰州铝业股份有限公司西北铝加工分公司、华北铝业有限公司等单位的领导、专家、学者和工程技术人员。会议对《手册》的编写原则、读者对象、篇幅、结构、进度安排、编审、组织工作等进行了深入的讨论。确定了《手册》的编撰宗旨为:《手册》的内容应该信息量和技术含量大;理论联系实践,以实践为主,突出实用性;国内国外相结合,突出先进性;注重科学性、系统性和代表性,力争将《手册》编写成一部具有实用性、先进性、科学性、系统性和能充分反映我国铝加工工业新工艺、新技术的高质量、权威性工具书。同时拟订了《手册》的编写大纲,编撰工作正式启动。

为了进一步落实编撰工作,2002 年 4 月在北京召开了《手册》第二次编撰工作会议。这次会议进一步讨论和调整了《手册》的编写大纲,明确了各章节的编写内容;按各参编单位和编撰人员的优势和特长分配了具体的编写任务,并进一步落实了各章节的编撰负责人和编写人员;协调了内容可能出现交叉的不同章节的编写工作;进一步明确了编写进度及有关编写要求。

经过近两年的工作,在各参编单位的大力支持和作者的共同努力下,2003 年 6 月,《手册》的撰写工作基本完成,开始了《手册》的统编工作。统编工作由谢水生教授和刘静安教授完成,最后由肖亚庆教授进行了审定。

2003 年 12 月在北京召开了《手册》第三次编撰工作会议,对统编后的书稿进行了最后详细的讨论、修改和定稿。定稿会由中国有色金属学会合金加工学术委员会主任谢水生教授和冶金工业出版社总编辑、副社长杨传福主持,参加这次定稿会的有:《手册》责任编辑冶金工业出版社张登科副编审;东北轻合金有限责任公司王涛教授级高工、杨志强高工、李念奎教授级

高工、聂波高工;西南铝业(集团)有限责任公司刘静安教授、冯云祥教授级高工;北京有色金属研究总院王志英高工;中色科技股份有限公司曹增富教授级高工;兰州铝业股份有限公司西北铝加工分公司王虎臣高工、宋禹田高工;华北铝业有限公司孔祥鹏教授级高工、曹建峰高工;北京科技大学谢建新教授;山东省丛林集团铝材有限公司张培栋高工、王明坤高工;深圳华加日铝业有限公司熊少非高工、姚立群高工;广东兴发集团有限公司吴锡坤高工;三门峡天元铝业有限公司陈应广高工、陈培超教授级高工;长沙新振升集团有限公司冷智勇高工;上海捷如实业有限公司盛春磊高工;广东凤铝铝业有限公司刘志铭高工;四川方舟铝业公司赵国忠高工等。另外,中国有色金属学会副秘书长杨焕文教授也参加了这次定稿会,并对《手册》的编撰工作给予了充分的肯定和高度评价。

《手册》共分11篇61章,插图800多幅,表格1000多个,约200万字,可谓鸿篇巨著,这是铝加工行业百余名专家、学者和工程技术人员共同努力的结果。

参加《手册》编撰工作的作者有:西南铝业(集团)有限责任公司的肖亚庆、刘静安、冯云祥、钟诚道、唐剑、黄平、王华春、黎勇、谷兵、李瑞山、杨文敏、邵莲芬、曾苏民、王松、何峰;东北轻合金有限责任公司的王涛、王立娟、汪洋、张君尧、武红林、单长智、毛翔、万时云、陈永远、吕新宇、赵云普、李宗耀、周鸿章、杨志强、李念奎、聂波、唐伟、郝志刚、雪玉峰、王德满、姜朝群;北京有色金属研究总院的谢水生、贺金字、赵云豪、朱琳、林乐耘、朱祖芳、沈健、熊柏青、李德富、李彦利、王志英;中色科技股份有限公司的刘劲波、陈策、曹增富、尹丽丽、范瑞尤、隋宇宁、刘昕、范斌、林道新、顾洪文、张满友、陈明元、李永刚;兰州铝业股份有限公司西北铝加工分公司的王虎臣、宋禹田、李建荣、戴维臣、吴正德、刘永范、王治昌;华北铝业有限公司的孔祥鹏、曹建峰、张深阳、武文韬、王斌、刘照旺、莫振海、关世彤、王志勇、王淑芬;中南大学的彭大暑、邓运来、尹志民、郑子樵、易丹青、张辉;北京科技大学的谢建新;东北大学的邱洪双、刘相华、崔建忠;哈尔滨工业大学的蒋大鸣;安徽工业大学的邓小民;北京航空制造工程研究所的邵亦陈、关桥、胡建国、瞿履;黄岩化工厂的蔡锡昌;山东省丛林集团铝材有限公司的张培栋;深圳华加日铝业有限公司的熊少非、姚立群;广东兴发集团有限公司的吴锡坤;三门峡天元铝业有限公司的李永正、陈应广、陈培超、龙在华;长沙新振升集团有限公司的冷智勇;上海捷如实业有限公司的盛春磊;广东凤铝铝业有限公司的刘志铭;四川方舟铝业公司的赵国忠等。

《手册》在编撰过程中,曾得到了中国有色金属学会和各参编单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

另外,《手册》在编写过程中,参考或引用了国内外专家、学者许多珍贵的资料、研究成果和著作等,在此表示真诚的谢意。

由于《手册》内容多,作者多,初稿近350万字,尽管经过统编和反复修改、调整,但在各章节的内容协调、叙述及其他方面难免有不妥之处,敬请广大读者谅解,并提出宝贵意见。

编辑委员会

2004年10月

目 录

第1篇 绪 论

1 铝加工技术概论	3	3.1 铝材的消费结构及社会需求 趋向	22
1.1 概述	3	3.2 铝材在交通运输业上的开发与 应用	23
1.2 铝及铝合金加工材的分类	3	3.2.1 概述	23
1.2.1 按合金成分与热处理方式 分类	3	3.2.2 铝材在轨道交通中的开发 与应用	23
1.2.2 按形状与规格分类	4	3.2.3 铝材在汽车工业上的开发 与应用	24
1.3 铝加工方法的分类与特点	4	3.2.4 铝材在船舶、舰艇上的开 发与应用	27
1.3.1 按工件在加工过程中的温度 特征分类	4	3.2.5 铝材在集装箱和冷藏箱上 的开发与应用	28
1.3.2 按工件在变形过程中的受力 与变形方式分类	4	3.2.6 铝材在摩托车和自行车上 的开发与应用	28
1.4 铝材在塑性成形加工时的组织与 性能变化	6	3.3 铝材在航空航天领域中的开发 与应用	30
1.4.1 热变形所引起铝材组织性能 的变化	6	3.4 铝材在建筑、桥梁结构上的开发 与应用	32
1.4.2 冷变形对铝材组织性能的 影响	7	3.4.1 建筑用铝材的现状与发展 趋势	32
1.5 铝加工技术的发展现状与趋势	8	3.4.2 建筑业常用的铝合金及结构 类型	32
1.5.1 国外铝加工技术的发展	8	3.5 铝材在包装、容器工业上的开发 与应用	33
1.5.2 国内铝加工技术的发展趋势	9	3.5.1 包装、容器用铝材的发展 概况	33
2 铝的基本特性、铝合金的分类及铸造 铝合金	11	3.5.2 铝易拉罐罐料的开发与应用	33
2.1 铝的基本特性与应用范围	11	3.5.3 铝箔包装的开发与应用	35
2.2 铝及铝合金的分类	12	3.6 铝材在电气、电子工业上的开发 与应用	36
2.3 铸造铝合金的特性、分类及主要 用途举例	13	3.6.1 概述	36
2.3.1 铸造铝合金的一般特性	13		
2.3.2 铸造铝合金的牌号与状态 表示方法	13		
2.3.3 铸造铝合金的特性和主要 用途举例	18		
3 铝合金加工材料的开发与应用	22		

3.6.2 铝材在电气工业上的开发 与应用	36	与应用	40
3.6.3 铝材在电子工业上的开发 与应用	38	3.7.4 工业机械用铝材的开发 与应用	41
3.6.4 铝材在家用电器上的开发 与应用	39	3.8 铝材在其他领域中的开发与应用	42
3.7 铝材在机械制造工业中的开发 与应用	39	3.8.1 铝材在能源工业中的开发 与应用	42
3.7.1 机械制造业用铝材的发展 概况	39	3.8.2 铝材在日用品和耐用消费品 中的开发与应用	44
3.7.2 各种标准零部件的铝化	40	3.8.3 铝材在文体用品和印刷业 中的开发与应用	45
3.7.3 农业机械用铝材的开发		3.9 铝及铝合金材料与新产品的 研制开发趋势	46

第2篇 变形铝合金

4 变形铝合金的分类、牌号、状态、 化学成分与特性	51	铝合金的化学成分	68
4.1 概述	51	4.4 变形铝合金的特性	68
4.2 变形铝合金的牌号及状态	51	4.4.1 变形铝合金的物理性能	68
4.2.1 中国的变形铝合金牌号及状态 表示方法	51	4.4.2 变形铝合金的力学性能	92
4.2.2 ISO 的变形铝合金牌号及状态 表示方法	61	4.4.3 变形铝合金的冶金特性	92
4.2.3 美国的变形铝合金牌号及状态 表示方法	63	4.4.4 变形铝合金的热处理性能	95
4.2.4 日本的变形铝合金牌号及状态 表示方法	65	4.4.5 变形铝合金的主要热处理 方式	97
4.2.5 德国(原联邦德国)的变形铝合 金牌号及状态表示方法	65	4.4.6 变形铝合金的化学性能	101
4.2.6 俄罗斯(前苏联)的变形铝合 金牌号及状态表示方法	67	4.4.7 变形铝合金的加工特征	103
4.3 变形铝及铝合金的化学成分	68	5 主要铝合金的相组成及相图选编	105
4.3.1 中国变形铝及铝合金的化学 成分	68	5.1 主要铝合金的相组成	105
4.3.2 美国标准(ANSI)和ISO变形 铝及铝合金的化学成分	68	5.2 铝合金相图选编	106
4.3.3 日本标准(JIS)变形铝及铝合 金的化学成分	68	5.2.1 铝合金二元相图选编	106
4.3.4 俄罗斯(前苏联)变形铝及铝 合金的化学成分	68	5.2.2 铝合金三元相图选编	112
4.3.5 德国(原联邦德国)变形铝及		6 1×××系铝合金	121
		6.1 微量元素在1×××系铝合金 中的作用	121
		6.2 1×××系铝合金材料的典型 性能	121
		6.3 1×××系铝合金的工艺性能	124
		6.4 1×××系铝合金的品种、状态 和典型用途	125
		7 2×××系铝合金	127
		7.1 合金元素和杂质元素在2××× 系铝合金中的作用	127

7.2	2 × × × 系铝合金材料的典型性能	129	12.1.1	Al-Zn-Mg-合金	176
7.3	2 × × × 系铝合金的工艺性能	137	12.1.2	Al-Zn-Mg-Cu 合金	176
7.4	2 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	139	12.2	7 × × × 系铝合金材料的典型性能	177
8	3 × × × 系铝合金	141	12.3	7 × × × 系铝合金的工艺性能	193
8.1	合金元素和杂质元素在 3 × × × 系铝合金中的作用	141	12.4	7 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	195
8.2	3 × × × 系铝合金材料的典型性能	141	13	8 × × × 系铝合金	197
8.3	3 × × × 系铝合金的工艺性能	145	13.1	8 × × × 系铝合金中的相	197
8.4	3 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	146	13.2	8 × × × 系铝合金材料的典型性能	197
9	4 × × × 系铝合金	148	14	新型变形铝合金	202
9.1	合金元素和杂质元素在 4 × × × 系铝合金中的作用	148	14.1	超塑铝合金	202
9.2	4 × × × 系铝合金材料的典型性能	148	14.1.1	超塑铝合金的组织特征及晶粒细化的途径	202
9.3	4 × × × 系铝合金的工艺性能	149	14.1.2	超塑铝合金的成分、组织和性能	203
9.4	4 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	149	14.2	Al-Li 合金	205
10	5 × × × 系铝合金	151	14.2.1	Al-Li 合金中各元素的作用	205
10.1	合金元素和杂质元素在 5 × × × 系铝合金中的作用	151	14.2.2	工业 Al-Li 合金的成分和性能	206
10.2	5 × × × 系铝合金材料的典型性能	152	14.3	铝铈合金	209
10.3	5 × × × 系铝合金的工艺性能	160	14.3.1	概况	209
10.4	5 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	162	14.3.2	Al-Mg-Sc 系合金	209
11	6 × × × 系铝合金	165	14.3.3	Al-Zn-Mg-Cu-Sc 系合金	211
11.1	合金元素和杂质元素在 6 × × × 系铝合金中的作用	165	14.3.4	Al-Mg-Li-Sc 系合金	212
11.2	6 × × × 系铝合金材料的典型性能	166	14.3.5	Al-Cu-Li-Sc 系合金	213
11.3	6 × × × 系铝合金的工艺性能	172	14.4	粉末冶金铝合金	213
11.4	6 × × × 系铝合金的品种、状态和典型用途	174	14.4.1	粉末冶金高强度铝合金	213
12	7 × × × 系铝合金	176	14.4.2	粉末冶金低密度高弹性模量铝合金	215
12.1	合金元素和杂质元素在 7 × × × 系铝合金中的作用	176	14.4.3	粉末冶金耐热铝合金	215
			14.4.4	粉末冶金耐磨铝合金和低膨胀系数铝合金	216
			14.5	铝基复合材料	216
			14.5.1	概述	216
			14.5.2	铝基复合材料的基体与增强体	217
			14.5.3	实用铝基复合材料	217

第3篇 铝合金的熔炼与铸造技术

15 铝及铝合金的熔炼	223	17.1.2 连续及半连续铸造	252
15.1 概述	223	17.2 铸锭的组织特点	253
15.1.1 熔炼目的	223	17.2.1 铸锭的典型组织	253
15.1.2 熔炼特点	223	17.2.2 铸锭组织特征	254
15.1.3 熔炼方法	224	17.3 晶粒细化技术	254
15.2 熔炼过程中的一些物理化学 行为	224	17.3.1 控制过冷度	254
15.2.1 炉内气氛	224	17.3.2 动态晶粒细化	255
15.2.2 熔融铝与气体间的相互 作用	225	17.3.3 变质处理	255
15.2.3 影响气体含量的因素	228	17.4 铸造工艺参数对铸锭质量 的影响	258
15.2.4 气体溶解度	229	17.4.1 冷却速度对铸锭质量 的影响	258
15.3 熔炼工艺流程及操作工艺参数 优化	230	17.4.2 铸造速度对铸锭质量 的影响	259
15.3.1 熔炼炉的准备	230	17.4.3 铸造温度对铸锭质量 的影响	260
15.3.2 熔炼工艺流程和操作工艺	232	17.4.4 结晶器高度对铸锭质量 的影响	260
15.3.3 熔炼时温度控制和火焰 控制	235	17.5 铸造工具的设计与制造	261
16 铝及铝合金熔体净化	238	17.5.1 铸造工具的设计	261
16.1 概述	238	17.5.2 铸造工具的制造	268
16.2 铝及铝合金熔体净化原理	238	17.6 工艺流程和操作技术	269
16.2.1 脱气原理	238	17.6.1 工艺流程	269
16.2.2 除渣原理	239	17.6.2 操作技术工艺	269
16.3 炉内处理	240	17.7 扁锭的铸造	272
16.3.1 吸附净化	240	17.7.1 纵向压延扁锭的铸造	272
16.3.2 非吸附净化	244	17.7.2 横向压延扁锭的铸造	273
16.4 炉外在线处理	244	17.8 圆锭的铸造	276
16.4.1 在线除气	244	17.8.1 圆锭铸造的基本操作	276
16.4.2 熔体过滤	247	17.8.2 小直径圆锭的铸造工艺 特点	276
16.4.3 除气 + 过滤	249	17.8.3 大直径圆锭的铸造工艺 特点	276
16.5 熔体净化技术的发展趋势	250	17.8.4 锻件用铸锭的铸造工艺 特点	277
16.5.1 炉内熔体处理技术的发展 趋势	250	17.8.5 铸造工艺参数	277
16.5.2 炉外在线净化技术的发展	250	17.9 空心锭的铸造	279
17 铝合金铸造技术与铸锭均匀化 退火	252	17.9.1 工艺特点	279
17.1 概述	252		
17.1.1 锭模铸造	252		

17.9.2 铸造与操作工艺	279	19.2 铸锭的机械加工	305
17.9.3 铸造工艺参数	279	20 铝合金熔炼铸造设备	307
17.10 先进的铸造方法——电磁铸造 技术	281	20.1 冶金炉的分类及对炉衬材料 的基本要求	307
17.10.1 电磁铸造的优缺点	281	20.1.1 冶金炉的分类	307
17.10.2 电磁铸造的原理及结构 特点	281	20.1.2 对冶金炉炉衬材料的基本 要求	308
17.11 铝合金铸锭的均匀化退火	281	20.2 火焰反射式炉	308
17.11.1 均匀化退火的目的	281	20.2.1 火焰反射式熔化炉和静置 保温炉简介	308
17.11.2 均匀化退火对铸锭组织 与性能的影响	281	20.2.2 几种火焰反射式熔化炉和 静置保温炉	308
17.11.3 均匀化制度	282	20.3 电阻式反射炉	314
18 铝合金铸锭缺陷分析	284	20.3.1 电阻式反射熔化炉和静置 保温炉简介	314
18.1 铝合金铸锭内部缺陷及分析	284	20.3.2 几种电阻式反射熔化炉和 静置保温炉	314
18.1.1 偏析与偏析瘤	284	20.4 用于反射式熔化炉和静置保温 炉的几种新装置	315
18.1.2 缩孔	286	20.4.1 蓄热室式预热装置与 蓄热式烧嘴	315
18.1.3 疏松与气孔	286	20.4.2 炉底喷吹气体精炼装置	316
18.1.4 夹杂与氧化膜	288	20.4.3 炉底电磁搅拌装置	316
18.1.5 白亮点	290	20.5 电感应炉	317
18.1.6 白斑	291	20.5.1 电感应炉的用途	317
18.1.7 光亮晶粒	292	20.5.2 感应熔化炉类型	317
18.1.8 羽毛状晶	292	20.5.3 几种无芯感应熔化炉	317
18.1.9 粗大晶粒	293	20.6 均匀化退火炉组	318
18.1.10 晶层分裂	294	20.6.1 均匀化退火炉组的用途	318
18.1.11 粗大金属化合物	295	20.6.2 均匀化退火炉组类型	318
18.1.12 过烧	296	20.6.3 几种均匀化退火炉组	319
18.1.13 枞树组织	298	20.7 铸造机	322
18.2 铝合金铸锭表面和外形缺陷 及分析	298	20.7.1 铸造机的用途	322
18.2.1 裂纹	298	20.7.2 铸造机的分类	322
18.2.2 冷隔	301	20.7.3 直接水冷(DC)式铸造机	322
18.2.3 拉裂和拉痕	301	20.8 熔铸设备的发展动态	327
18.2.4 弯曲	302	20.8.1 电解铝液直接铸造装置	327
18.2.5 偏心	302	20.8.2 提高熔铸设备机械化、 自动化和连续化水平	327
18.2.6 尺寸不符	302	20.8.3 改进冶金炉结构、材料以及 提高使用性能和降低能耗	328
18.2.7 周期性波纹	302		
18.2.8 表面气泡	302		
19 铸锭的质量检查与机械加工	304		
19.1 铸锭的质量检查	304		
19.1.1 传统的检查方法	304		
19.1.2 无损检测	305		

第4篇 铝合金板、带、箔材生产技术

21 轧制原理与方法	333	23.2.1 连续铸轧的工作原理	371
21.1 铝合金轧制原理	333	23.2.2 连续铸轧主要工艺参数 优化	372
21.1.1 轧制过程及变形参数	333	23.3 连续铸轧主要工装设备	374
21.1.2 轧件的咬入条件	334	23.3.1 液面控制系统	374
21.1.3 轧制金属的流动与变形	335	23.3.2 铸轧辊	375
21.1.4 轧制压力	338	23.3.3 供料嘴	378
21.1.5 轧制的弹塑曲线及板厚 纵向控制	341	23.3.4 冷却水	380
21.2 生产方法及工艺流程	344	23.3.5 辊面防粘方式	381
21.2.1 生产方法	344	23.4 铸轧生产准备与操作技术	382
21.2.2 生产工艺流程	347	23.4.1 铸轧生产准备	382
22 热轧技术	349	23.4.2 铸轧生产操作技术	383
22.1 热轧的特点与产品方案	349	23.4.3 铸轧板的冶金组织	384
22.1.1 热轧的特点	349	23.4.4 铸轧板质量的控制	384
22.1.2 产品方案与工艺流程	349	23.5 铸轧板缺陷	384
22.2 热轧前的准备	349	23.5.1 铸轧板内部缺陷	384
22.2.1 铸锭形状和规格	349	23.5.2 铸轧板表面和外形缺陷	387
22.2.2 热轧前铸锭的表面处理	350	24 铝合金连铸连轧技术	390
22.2.3 铸锭的包铝	351	24.1 概述	390
22.2.4 铸锭的加热	352	24.1.1 连铸连轧生产方法简介	390
22.3 热轧制度的确定与工艺参数的 优化	354	24.1.2 连铸连轧工艺特点	390
22.3.1 热轧制度的确定	354	24.1.3 连铸连轧生产方法分类	390
22.3.2 热轧机轧制规程的制定 及轧制生产	355	24.2 板带坯连铸连轧生产方法	391
22.3.3 热轧机的配置及特点	364	24.2.1 哈兹莱特 (Hazelett) 双钢带连铸连轧法	391
22.4 热轧时的冷却与润滑	367	24.2.2 双履带式劳纳法 (Casrter II)	393
22.4.1 热轧乳液的基本功能	367	24.2.3 凯撒微型双钢带连铸 连轧方法	394
22.4.2 热轧乳化液的基本组成	368	24.2.4 轮带式带坯连铸连轧方法	395
22.4.3 热轧乳化液的使用维护 与管理	369	24.3 线坯连铸连轧生产方法	395
23 铝合金连续铸轧技术	371	25 冷轧技术	398
23.1 双辊连续铸轧法的特点和 分类	371	25.1 冷轧的特点及其分类	398
23.1.1 双辊连续铸轧法的特点	371	25.1.1 冷轧的特点	398
23.1.2 双辊连续铸轧法的分类	371	25.1.2 冷轧机的分类	398
23.2 连续铸轧的工作原理及主要 工艺参数优化	371	25.2 冷轧的工艺制度与轧制张力	399
		25.2.1 冷轧压下制度	399
		25.2.2 冷轧的张力	401

25.3 冷轧质量控制	402	27.3 铝箔轧制时的厚度测量与 控制	448
25.3.1 厚度控制	402	27.3.1 铝箔轧制时的厚度测量	448
25.3.2 板形控制	407	27.3.2 铝箔轧制时的厚度控制	448
25.3.3 表面质量控制	407	27.4 铝箔轧制时的润滑	450
26 铝及铝合金板带材精整与热处理 ...	414	27.4.1 轧制油的选择与管理	450
26.1 纵切、横切	414	27.4.2 轧制油的过滤	454
26.1.1 纵切	414	27.4.3 轧制油的管理	456
26.1.2 横切	416	27.5 高速铝箔轧制的火灾预防	456
26.2 板带材的精整矫直	417	27.5.1 火灾原因分析	456
26.2.1 概述	417	27.5.2 火灾的预防措施	457
26.2.2 辊式矫直	417	27.6 铝箔的合卷、分卷与清洗	457
26.2.3 钳式拉伸矫直	420	27.6.1 铝箔的合卷	457
26.2.4 连续张力矫直	421	27.6.2 铝箔的分卷	458
26.2.5 连续拉伸弯曲矫直	421	27.6.3 铝箔的清洗	460
26.2.6 张力矫直质量控制	422	27.7 铝箔的成品退火	460
26.3 铝合金厚板的淬火与拉伸 技术	422	27.7.1 铝箔成品退火的种类	460
26.3.1 铝合金厚板的淬火	422	27.7.2 铝箔成品退火工艺参数 的优化	460
26.3.2 铝合金厚板的拉伸	424	27.8 铝箔的包装、标志、运输、 贮存与防腐	462
26.4 板带材的退火与人工时效	427	27.8.1 铝箔的包装	462
26.4.1 概述	427	27.8.2 包装标志	463
26.4.2 铝合金板带材的退火与 人工时效工艺	427	27.8.3 铝箔的运输	463
26.5 铝加工板带材的检查、涂油 及包装	430	27.8.4 铝箔的贮存	463
26.5.1 检查	430	27.8.5 铝箔卷的防腐措施	463
26.5.2 涂油	430	28 板形控制技术	464
26.5.3 铝加工板带材的包装	431	28.1 板形分类及其表示方法	464
27 铝箔生产技术	436	28.1.1 板形的分类	464
27.1 铝箔的品种、规格、性能 与用途	436	28.1.2 板形的定量表示法	464
27.1.1 铝箔产品的品种、规格	436	28.1.3 板凸度	466
27.1.2 铝箔的性能	436	28.1.4 板凸度与板形的关系	466
27.2 铝箔的生产工艺流程及主要 轧制工艺参数的优化	440	28.1.5 边部减薄	466
27.2.1 铝箔生产工艺流程	440	28.2 影响板形的主要因素	467
27.2.2 铝箔轧制的特点	441	28.2.1 轧制力变化对板形的 影响	467
27.2.3 铝箔坯料	442	28.2.2 来料板凸度对板形的 影响	468
27.2.4 影响铝箔轧制质量的 因素	442	28.2.3 热凸度变化对板形的影响	468
27.2.5 轧制工艺参数的优化	443	28.2.4 初始轧辊凸度对板形的 影响	468

28.2.5 板宽变化对板形的影响	469	29.1.2 铝及铝合金板带材的尺寸 精度和形状缺陷	508
28.2.6 张力对板形的影响	469	29.1.3 铝及铝合金板带材的 表面缺陷	508
28.2.7 轧辊接触状态对板形的 影响	469	29.1.4 铝及铝合金板带材的组织 与性能缺陷	515
28.3 板形检测技术与装置	470	29.2 铝箔的缺陷分析	515
28.3.1 板形检测装置及其分类	470	30 轧制设备	517
28.3.2 热轧板带板形检测仪	470	30.1 概述	517
28.3.3 冷轧板带板形检测仪	471	30.2 铸锭铣面装置	517
28.3.4 ASEAQUSM200 冷轧板材 板形检测系统	472	30.3 铸锭加热装置	517
28.4 板形控制的主要方法及技术	472	30.4 热轧机	518
28.4.1 弯辊	472	30.4.1 热轧机分类	518
28.4.2 轧辊横移	476	30.4.2 单机架双卷取热轧 机组	518
28.4.3 轧辊交叉	481	30.4.3 热粗轧 + 热精轧机组	520
28.5 轧辊辊型设计	482	30.4.4 热连轧机组	521
28.5.1 板形与辊型	482	30.4.5 热轧机的结构及现代化技术 的应用	522
28.5.2 二辊板带轧机轧辊辊型 挠度的计算	483	30.4.6 国外热轧机采用的新技术和 新装置	524
28.5.3 四辊板带轧机轧辊辊型 挠度的计算	485	30.5 连铸连轧机组	526
28.5.4 轧辊热凸度计算	486	30.5.1 板带连铸连轧机组	526
28.6 冷轧板带材的板形与辊型 控制技术	488	30.5.2 棒线材连铸连轧机组	527
28.6.1 冷轧板形控制系统的 组成	488	30.6 铸轧机	528
28.6.2 板形测量	489	30.6.1 标准铸轧机	528
28.6.3 冷轧板形控制技术	493	30.6.2 超型铸轧机	528
28.7 铝箔轧制时的辊型及板形控制 技术	495	30.6.3 超薄高速型铸轧机	530
28.7.1 轧制前的准备	495	30.6.4 无机架二辊铸轧机	531
28.7.2 铝箔轧制的板形控制	496	30.7 冷轧机	531
28.7.3 铝箔轧制板形调节过程 举例	498	30.7.1 几种典型的冷轧机技术 性能	531
28.8 轧辊的磨削	499	30.7.2 冷轧机的结构及现代化 技术的应用	533
28.8.1 轧辊	499	30.8 铝箔轧机	534
28.8.2 轧辊磨床	501	30.8.1 铝箔轧机分类	534
28.8.3 轧辊磨削工艺	502	30.8.2 几种典型的铝箔轧机技术 性能	534
29 铝合金板、带、箔材的缺陷分析	508	30.8.3 铝箔轧机的结构组成和 现代化技术的应用	539
29.1 铝及铝合金板带材缺陷	508	30.9 板带箔材热处理设备	540
29.1.1 铝及铝合金板带材缺陷 的分类	508		

30.9.1 板带箔材热处理设备的 分类及特点	540	30.10.3 纵横联合剪切机组	545
30.9.2 典型的板带箔材热处理 设备	541	30.10.4 拉伸弯曲矫直机组	546
30.10 板带箔材的精整矫直设备	543	30.10.5 涂层机组	547
30.10.1 纵切机组	543	30.10.6 铝箔剪切机	548
30.10.2 横切机组	544	30.10.7 铝箔合卷机	549
		30.10.8 铝箔分卷机	550

第5篇 铝合金管、棒、型、线材生产技术

31 铝合金管、棒、型、线材的品种

规格与生产方式

31.1 概述

31.2 铝合金管、棒、型、线材的 品种与规格

31.2.1 挤压制品常用铝合金及 挤压特性

31.2.2 铝合金型材的品种与规格

31.2.3 铝合金管材的品种与规格

31.2.4 铝合金棒材和线材的 品种与规格

31.3 铝合金管、棒、型、线材的 生产方式与工艺流程

31.3.1 铝合金型、棒、线材的 生产方式与工艺流程

31.3.2 铝合金管材的生产方式 与工艺流程

32 铝合金挤压生产技术

32.1 概述

32.1.1 挤压方法及其工作原理

32.1.2 挤压成形法的特点

32.1.3 铝合金挤压技术的发展 现状

32.2 铝合金挤压的基本变形条件 和特点

32.2.1 铝合金挤压时的流动特性 及挤压制品的缺陷

32.2.2 铝合金挤压时的应力应变 状态

32.2.3 铝合金挤压制品的组织 与性能

32.2.4 铝合金挤压时的挤压力 计算方法

32.3 铝及铝合金挤压工艺与生产 实用技术

32.3.1 铝及铝合金挤压生产工艺 的编制

32.3.2 棒材和普通型材挤压工艺 与生产技术

32.3.3 管材热挤压工艺与生产 技术

32.3.4 空心型材挤压工艺与生产 技术

32.3.5 民用建筑型材挤压工艺与 生产技术

32.3.6 反向挤压工艺与生产 技术

32.3.7 特种型材挤压工艺与生产 技术

32.3.8 线材毛料挤压工艺与生产 技术

32.3.9 大型带筋壁板型材挤压 工艺与生产技术

32.3.10 大型铝合金空心型材挤压 工艺与生产技术

32.3.11 管材冷挤压

33 铝合金管材轧制技术

33.1 概述

33.2 管材轧制方法

33.2.1 周期式二辊冷轧管法

33.2.2 多辊式冷轧管法

33.3 冷轧管时的力及其计算

33.3.1 二辊式冷轧管轧制力的 计算	620	36 热处理与精整矫直技术	681
33.3.2 二辊式冷轧管时的轴向力 及其计算	622	36.1 管、棒、型、线材的热处理 技术	681
33.3.3 多辊轧机轧制力的计算	624	36.1.1 管、棒、型、线材退火	681
33.4 管材轧制工艺	624	36.1.2 管、棒、型、线材淬火 及时效	686
33.4.1 轧制管坯的准备与质量 要求	624	36.2 管、棒、型材的精整与矫直	693
33.4.2 冷轧管工艺	628	36.2.1 反弯矫直	693
33.4.3 多辊冷轧管机轧制工艺	637	36.2.2 旋转矫直	694
33.5 冷轧管机的操作与工艺调整	637	36.2.3 拉伸矫直	699
34 铝合金拉制生产技术	639	36.2.4 铝合金管、棒、型材精整 矫直工艺	699
34.1 概述	639	37 工模具设计与制造技术	705
34.1.1 拉伸的特点	639	37.1 概述	705
34.1.2 实现拉伸的条件	639	37.1.1 挤压工模具的发展概况	705
34.1.3 常用的变形参数及其 相互关系	640	37.1.2 挤压工模具的工作条件	706
34.1.4 拉伸时的润滑	640	37.1.3 挤压工模具材料及其合理 选择	706
34.2 线材拉伸技术	641	37.2 挤压工具的设计技术	711
34.2.1 概述	641	37.2.1 挤压工具的分类及装配 结构形式	711
34.2.2 拉伸力计算与测定	641	37.2.2 挤压筒的结构形式	712
34.2.3 拉伸工艺	642	37.2.3 挤压轴的设计	718
34.3 管材拉伸技术	648	37.2.4 穿孔系统的设计	721
34.3.1 管材拉伸方法	648	37.2.5 挤压垫片的设计	723
34.3.2 管材拉伸工艺	651	37.2.6 模支承、模环、压型嘴、 模架及其他挤压工具的 设计	725
34.3.3 管材拉伸力计算	663	37.3 挤压模具设计与工模具制造 技术	725
35 旋压加工技术	665	37.3.1 挤压模具的类型及组装 方式	725
35.1 旋压的分类和特点	665	37.3.2 挤压模具的典型结构要素 及外形标准化	727
35.1.1 普通旋压	665	37.3.3 模具设计原则及步骤	729
35.1.2 强力旋压	665	37.3.4 棒材模的设计	731
35.2 常用的旋压铝合金	668	37.3.5 无缝圆管挤压模具设计	733
35.3 管材旋压工艺	669	37.3.6 普通型材模具的设计	735
35.3.1 旋压的工艺要求	669	37.3.7 分流组合模的设计	738
35.3.2 旋压工艺举例	672	37.3.8 阶段变断面型材模具 设计	741
35.3.3 旋压工装	674		
35.4 旋压设备	676		
35.5 旋压件的质量控制	678		
35.5.1 旋压件组织	678		
35.5.2 旋压件的力学性能	678		
35.5.3 旋压件的尺寸精度	678		
35.5.4 旋压件的缺陷及消除措施	680		