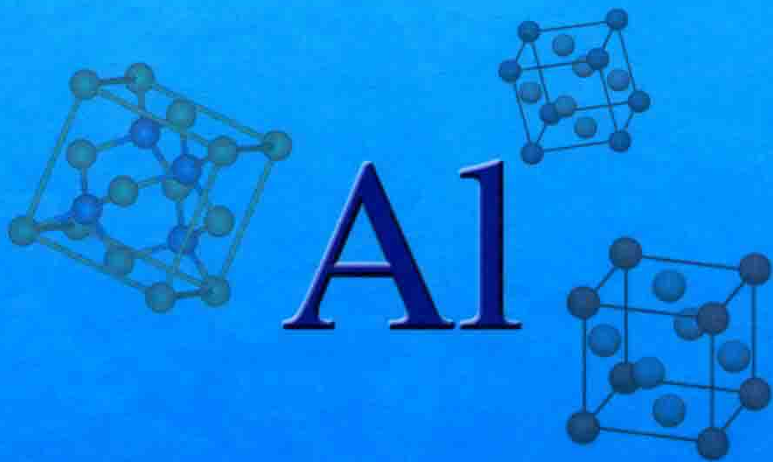


简明铝合金 加工手册

JIANMING LÚHEJIN JIAGONG SHOUCHE

谢水生 刘静安 徐骏 李静媛 编



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

简明铝合金加工手册

谢水生 刘静安 徐骏 李静媛 编

冶金工业出版社

2016

内 容 简 介

本手册全面、系统地介绍了铝及铝合金加工工艺、技术和装备,特别是对近年来铝加工工业的新材料、新工艺、新技术和新设备进行了详细介绍。内容丰富,简明实用。

手册共分6篇。第1篇为绪论;第2篇为变形铝合金及典型性能;第3篇为铝及铝合金加工技术;第4篇为铝材深加工技术及其开发应用;第5篇为废铝回收再生、环境保护与安全生产技术;第6篇为铝材产品检验与技术标准目录总汇。

本手册是铝加工企业技术人员、生产人员、质量管理人员、检测人员以及科研院所的工程技术人员和研究人员必备的实用工具书;也可供从事铝及铝合金材料深加工产品生产、科研、设计、产品开发、营销方面的技术人员和管理人员阅读;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

简明铝合金加工手册/谢水生等编. —北京:冶金工业出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5024-7318-1

I. ①简… II. ①谢… III. ①铝合金—金属加工—技术手册 IV. ①TG146.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第257763号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 张登科 唐晶晶 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7318-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2016年12月第1版,2016年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;94.5印张;2295千字;1482页

298.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

由于铝及铝合金材料具有质量轻、比强度高、耐蚀性好等一系列优良特性，因此，广泛应用于国民经济的各个领域，如航空航天、交通运输、电子通信、建筑装饰、包装容器、机械电力、石油化工、能源动力、五金家电、文体卫生等行业，成为国民经济发展与人民物质文化水平提高不可缺少的重要的基础材料。

我国的铝加工业发展十分迅速，根据国家统计局公布的有关数据，铝材产量从2004年的439.7万吨，发展到2015年的5000余万吨，占世界产量的一半以上，已成为名副其实的铝业大国。

进入21世纪以来，节约资源、节省能源、改善环境越来越成为人类生活与社会持续发展的必要条件，人们正竭力开辟新途径，寻求节约资源、节省能源、改善环境和绿色发展的有效模式，其中轻量化显然是有效的发展途径之一，而铝合金是轻量化发展首选的金属材料之一。因此，近十年来，我国的铝及铝合金产品和产量的增长更加迅速，应用领域更加广泛，其中，铝合金型材广泛应用于轨道交通、高速列车、大型建筑、建筑模板、各种全铝合金建筑物；铝合金板带材广泛应用于航空航天以及各种包装、罐盖制造等。铝加工材的广泛应用，给铝材和加工技术提供了广阔的发展平台和机遇。

十多年来，铝及铝合金材料及加工技术发展迅猛，涌现出不少新材料、新工艺、新技术和新装备。因此，作者在2005年已出版的《铝加工技术实用手册》一书基础上，从篇幅、结构、内容等进行了全面、系统的调整和修改，删除了许多过时的内容，并大幅度增加了近年来国内外铝及铝合金材料加工方面的先进技术、工艺以及新材料和新装备等，大大丰富实用的内容，以飨读者。希望该手册的出版能对铝材生产工业和技术的发展，对扩大铝材的品种，提高铝材的产量、质量和效益，降低铝材的成本，拓展铝材应用领域等，起到应有的促进作用。

本手册共分6篇，44章。第1篇为绪论，包括1~3章，即铝加工技术概论，变形铝合金的加工方法分类及生产工艺流程，铸造铝合金的特征、分类与主要用途；第2篇为变形铝合金及典型性能，包括4~7章，即变形铝合金的分类、牌号、状态、成分与特性，主要铝合金的相组成及相图选编，1×××

系~8×××系变形铝合金材料的典型性能及用途,新型变形铝合金材料的典型性能及用途;第3篇为铝及铝合金加工技术,包括8~36章,即铝及铝合金的熔炼技术,铝及铝合金的熔体净化,铝合金铸造技术与铸锭均匀化退火,铝合金铸锭的质量检验及主要缺陷分析,铝合金熔炼铸造设备,铝合金板带箔材生产工艺及平辊轧制原理,铝合金热轧技术,铝合金连续铸轧技术,铝合金连铸连轧技术,铝合金冷轧技术,铝箔生产技术,铝及铝合金板带箔材的分剪、精整与热处理技术,铝及铝合金板带箔材板形与辊型控制技术,铝及铝合金板带箔的主要缺陷分析与质量控制,铝合金板带箔材加工设备,铝合金管棒型线材的品种规格及典型生产工艺,铝及铝合金挤压生产技术,铝及铝合金管材轧制技术,铝及铝合金拉拔(伸)生产技术,铝及铝合金旋压加工技术,铝合金管、棒、型、线材的热处理与精整矫直技术,铝合金挤压工模具设计与制造技术,铝合金管、棒、型、线材的主要缺陷分析与质量控制,铝合金管、棒、型、线材的主要生产设备,铝及铝合金锻件生产技术,铝粉生产技术及粉末冶金,铝基复合材料生产技术,几种铝及铝合金加工制备新技术,铝加工材测试技术与装备;第4篇为铝材深加工技术及其开发应用,包括37~40章,即铝材表面处理技术,铝材接合技术,铝板带材深加工技术及其应用与开发,铝合金挤压材深加工技术及其应用与开发;第5篇为废铝回收再生、环境保护与安全生产技术,包括41~43章,即废铝回收及再生利用技术,铝加工的环境保护技术,铝加工企业的安全生产与卫生技术;第6篇为铝材产品检验与技术标准目录总汇。

手册由谢水生、刘静安拟定大纲,谢水生、刘静安、徐骏、李静媛分别根据大纲调整、撰写和修改,最后由谢水生、刘静安教授审定。

手册可供铝加工企业技术人员、生产人员、质量管理人员、检测人员以及科研院所的工程技术人员和研究人员使用;也可供从事铝及铝合金材料深加工产品生产、科研、设计、产品开发、营销方面的技术人员和管理人员阅读;并可作为大专院校有关专业师生的参考书。

手册在编写过程中,参考或引用了国内外有关专家、学者许多珍贵的资料、研究成果和著作等,在此一并表示衷心的感谢。

编者热切希望本手册的出版能为读者提供有益的帮助和启示,但鉴于编著水平和搜集资料的局限性等,书中不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年6月6日

目 录

第 1 篇 绪 论

1 铝加工技术概论	3
1.1 铝的基本特性及应用领域	3
1.2 铝及铝合金材料的分类	5
1.2.1 按合金成分与热处理方式分类	6
1.2.2 按生产方式分类	6
1.2.3 按产品形状分类	7
1.2.4 按产品规格分类	7
1.3 铝加工技术的发展	8
1.3.1 铝的发展历史	8
1.3.2 全球铝加工工业的发展	11
1.3.3 中国铝加工工业的发展	13
1.3.4 我国铝加工工业的现状与发展趋势	14
2 变形铝合金的加工方法分类及生产工艺流程	18
2.1 变形合金的加工方法分类	18
2.1.1 按加工时的温度特征分类	18
2.1.2 按变形过程的应力-应变状态分类	18
2.2 铝及铝合金加工材的生产工艺流程	22
3 铸造铝合金的特性、分类与主要用途	24
3.1 铸造铝合金的一般特性	24
3.2 铸造铝合金的牌号与状态表示方法	24
3.2.1 中国铸造铝合金的牌号与状态表示方法	24
3.2.2 美国及 ISO 铸造铝及铝合金	26
3.2.3 日本的铸造铝合金	27
3.2.4 世界各国铸造铝合金对照	28
3.3 铸造铝合金的特性和主要应用	28
3.3.1 一般铸造用铝合金	28
3.3.2 压力铸造用铝合金	32
3.3.3 主要铸造铝合金的特性和性能	33

第 2 篇 变形铝合金及典型性能

4 变形铝合金的分类、牌号、状态、成分与特性	39
4.1 变形铝合金的分类	39
4.2 变形铝合金的特性	39
4.2.1 变形铝合金的物理性能	39
4.2.2 变形铝合金的力学性能	39
4.2.3 变形铝合金的化学性能	39
4.2.4 变形铝合金的冶金特性	45
4.2.5 变形铝合金热处理特征及主要热处理方式	48
4.2.6 变形铝合金的加工特征	50
4.3 变形铝合金的牌号及状态	51
4.3.1 中国变形铝合金牌号及状态表示方法	51
4.3.2 ISO 的变形铝合金牌号及状态表示方法	64
4.3.3 美国的变形铝合金牌号及其状态表示方法	66
4.3.4 日本的变形铝合金牌号及其状态表示方法	69
4.3.5 德国 (前联邦德国) 的变形铝合金牌号及其状态表示方法	70
4.3.6 俄罗斯 (前苏联) 的变形铝合金牌号及其状态表示方法	73
4.4 变形铝合金的化学成分	74
4.4.1 中国变形铝合金的化学成分	74
4.4.2 美国标准 (ANSI) 和 ISO 的变形铝合金化学成分	74
4.4.3 日本标准 (JIS) 变形铝及铝合金化学成分	74
4.4.4 俄罗斯 (前苏联) 变形铝及铝合金化学成分	74
4.4.5 德国 (前联邦德国) 变形铝及铝合金化学成分	74
5 主要铝合金的相组成及相图选编	103
5.1 主要变形铝合金的相组成	103
5.2 主要铝合金的相图选编	104
5.2.1 铝合金二元相图选编	104
5.2.2 铝合金三元相图选编	107
6 1×××系~8×××系变形铝合金材料的典型性能及用途	121
6.1 1×××系铝合金及其加工材料	121
6.1.1 微量元素在1×××系铝合金中的作用	121
6.1.2 1×××系铝合金材料的典型性能	121
6.1.3 1×××系铝合金的工艺性能	125

6.1.4	1×××系铝合金的品种、状态和典型用途	127
6.2	2×××系铝合金及其加工材料	128
6.2.1	合金元素和杂质元素在2×××系铝合金中的作用	128
6.2.2	2×××系铝合金材料的典型性能	131
6.2.3	2×××系铝合金的工艺性能	141
6.2.4	2×××系铝合金的品种和典型用途	145
6.3	3×××系铝合金及其加工材料	147
6.3.1	合金元素和杂质元素在3×××铝合金中的作用	147
6.3.2	3×××系铝合金材料的典型性能	148
6.3.3	3×××系铝合金的工艺性能	152
6.3.4	3×××系铝合金的品种、状态和典型用途	154
6.4	4×××系铝合金及其加工材料	155
6.4.1	合金元素和杂质元素在4×××系铝合金中的作用	155
6.4.2	4×××系铝合金材料的典型性能	155
6.4.3	4×××系铝合金的工艺性能	157
6.4.4	4×××系铝合金的品种、状态和典型用途	158
6.5	5×××系铝合金及其加工材料	158
6.5.1	合金元素和杂质元素在5×××系铝合金中的作用	158
6.5.2	5×××系铝合金材料的典型性能	159
6.5.3	5×××系铝合金的工艺性能	172
6.5.4	5×××系铝合金的品种、状态和典型用途	175
6.6	6×××系铝合金及其加工材料	177
6.6.1	合金元素和杂质元素在6×××系铝合金中的作用	177
6.6.2	6×××系铝合金材料的典型性能	178
6.6.3	6×××系铝合金的工艺性能	185
6.6.4	6×××系铝合金的品种、状态和典型用途	187
6.7	7×××系铝合金及其加工材料	188
6.7.1	合金元素和杂质元素在7×××系铝合金中的作用	189
6.7.2	7×××系铝合金材料的典型性能	191
6.7.3	7×××系铝合金的工艺性能	211
6.7.4	7×××系铝合金的品种、状态和典型用途	213
6.8	8×××系铝合金及其加工材料	215
6.8.1	8×××系铝合金中的相	215
6.8.2	8×××系铝合金材料的典型性能	215
7	新型变形铝合金材料的典型性能及用途	222
7.1	超塑铝合金及其加工材料	222

7.1.1 超塑铝合金的组织特征及晶粒细化	222
7.1.2 几种超塑铝合金的成分和性能	223
7.2 Al-Li 合金	226
7.2.1 Al-Li 合金的特点及各元素的作用	226
7.2.2 几种 Al-Li 合金的成分和性能	227
7.3 Al-Sc 合金	230
7.3.1 Al-Sc 合金的特点	230
7.3.2 几种 Al-Sc 合金的成分和性能	230
7.4 粉末冶金铝合金	235
7.4.1 概况	235
7.4.2 几种工业粉末冶金铝合金	236
7.5 铝基复合材料	240
7.5.1 铝基复合材料特性及主要组成	240
7.5.2 几种铝基复合材料	241

第 3 篇 铝及铝合金加工技术

8 铝及铝合金的熔炼技术	247
8.1 熔炼的目的、特点及方法	247
8.1.1 熔炼的目的	247
8.1.2 熔炼的特点	247
8.1.3 熔炼方法	248
8.2 熔炼过程中的物理化学行为	249
8.2.1 炉内气氛	249
8.2.2 液态金属与气体的相互作用	249
8.2.3 影响气体含量的因素	254
8.2.4 气体溶解度	255
8.3 中间合金的制备技术	256
8.3.1 使用中间合金的目的和要求	256
8.3.2 中间合金的熔制技术	259
8.3.3 中间合金的熔铸工艺与设备	261
8.4 熔炼工艺流程及操作工艺	264
8.4.1 熔炼前的准备	264
8.4.2 熔炼工艺流程	267
8.4.3 熔炼温度及火焰的控制	269
8.5 化学成分的调整	272
8.5.1 成分调整	272

8.5.2	各系铝合金的成分控制要点	274
8.6	主要铝合金的熔炼特点	275
8.6.1	1×××系铝合金的熔炼特点	275
8.6.2	2×××系铝合金的熔炼特点	276
8.6.3	3×××系铝合金的熔炼特点	276
8.6.4	4×××系铝合金的熔炼特点	276
8.6.5	5×××系铝合金的熔炼特点	276
8.6.6	6×××系铝合金的熔炼特点	277
8.6.7	7×××系铝合金的熔炼特点	277
8.7	铝合金废料复化	278
8.7.1	废料复化前的预处理	278
8.7.2	废料的复化	278
8.7.3	复化锭的标识、保管和使用	278
9	铝及铝合金的熔体净化	279
9.1	概述	279
9.2	铝及铝合金熔体净化原理	279
9.2.1	脱气原理	279
9.2.2	除渣原理	280
9.3	熔体炉内净化处理	281
9.3.1	吸附净化	282
9.3.2	非吸附净化	286
9.4	熔体炉外在线净化处理	287
9.4.1	在线除气	287
9.4.2	熔体在线过滤	291
9.4.3	除气+过滤	297
10	铝合金铸造技术与铸锭均匀化退火	298
10.1	铝合金铸造技术	298
10.1.1	铝合金铸造的分类	298
10.1.2	铸锭的组织特点	300
10.1.3	铸锭的晶粒细化技术	301
10.1.4	铸造工艺参数对铸锭质量的影响	305
10.1.5	铸造工具的设计与制造	309
10.1.6	工艺流程和操作技术	319
10.1.7	扁锭的铸造	322
10.1.8	圆锭的铸造	327

10.1.9	空心锭的铸造	331
10.1.10	铸造技术的发展趋势	333
10.2	铝合金铸锭的均匀化退火及机械加工	335
10.2.1	铝合金铸锭的均匀化退火	335
10.2.2	成品铸锭的机械加工	338
11	铝合金铸锭的质量检验及主要缺陷分析	344
11.1	铸锭的质量检查方法	344
11.1.1	圆铸锭的质量检查	344
11.1.2	扁铸锭的质量检查	344
11.1.3	先进检测方法及检测技术	345
11.2	铝合金铸锭缺陷及分析	346
11.2.1	铸锭内部缺陷及分析	346
11.2.2	铸锭表面及外形缺陷分析	363
12	铝合金熔炼铸造设备	370
12.1	铝合金熔炼炉的分类及对炉衬材料的基本要求	370
12.1.1	铝合金熔炼炉的分类	370
12.1.2	铝合金熔炼对炉衬材料的基本要求	371
12.2	反射式熔化炉和静置保温炉	371
12.2.1	火焰反射式熔化炉和静置保温炉	371
12.2.2	电阻式反射熔化炉和静置保温炉	377
12.2.3	用于反射式熔化炉和静置保温炉的几种新装置	380
12.3	电感应炉	381
12.3.1	电感应炉的用途及主要类型	381
12.3.2	几种无芯感应熔化炉	382
12.4	均匀化退火炉组	383
12.4.1	均匀化退火炉组的用途及类型	383
12.4.2	几种均匀化退火炉组	383
12.5	铸造机	386
12.5.1	铸造机的用途及分类	386
12.5.2	直接水冷(DC)式铸造机	387
12.6	熔铸设备的发展动态	392
13	铝合金板带箔材生产工艺及平辊轧制原理	395
13.1	铝合金板带箔材的生产工艺	395
13.1.1	主要生产方法	395
13.1.2	铸锭的设计	396

13.1.3	主要加工工艺	396
13.1.4	生产工艺流程	398
13.2	铝合金平辊轧制原理及变形力学条件	400
13.2.1	平辊轧制过程及轧制变形参数	400
13.2.2	轧制过程建立的条件	402
13.2.3	轧制金属变形的规律	404
13.2.4	轧制压力	407
13.2.5	轧制的弹塑曲线及板厚纵向控制	412
14	铝合金热轧技术	417
14.1	热轧的特点、产品方案与工艺流程	417
14.1.1	热轧的特点	417
14.1.2	产品方案与工艺流程	417
14.2	热轧前的准备	417
14.2.1	铸锭形状和规格	418
14.2.2	热轧前铸锭的表面处理	419
14.2.3	铸锭的包铝	420
14.2.4	铸锭的加热	421
14.3	热轧制度的确定与工艺参数的优化	424
14.3.1	热轧制度的确定	424
14.3.2	热轧机轧制规程的制定及轧制生产	425
14.3.3	热轧机的配置及特点	438
14.4	铝合金中厚板材热轧生产控制工艺要点及几种工艺简介	444
14.4.1	铝合金中厚板热轧生产工艺控制要点	444
14.4.2	几种铝合金中厚板材的生产工艺	445
14.5	热轧中厚板易出现的缺陷及消除方法	450
14.5.1	热轧开裂和裂边产生的原因及消除方法	450
14.5.2	高塑性软合金热轧时轧辊粘铝和缠辊	453
14.5.3	高锌铝合金厚板轧制时的翘曲	454
14.5.4	热轧时铸块啃辊	455
14.6	热轧时的冷却与润滑	456
14.6.1	热轧乳化液的基本功能及组成	456
14.6.2	影响热轧乳化液润滑性能的因素	458
14.6.3	热轧乳化液的用水及添加剂的作用	459
14.6.4	热轧乳化液的配制、使用维护与管理	461
15	铝合金连续铸轧技术	466
15.1	连续铸轧法的特点和分类	466

15.1.1	双辊连续铸轧法的特点	466
15.1.2	双辊连续铸轧法的分类	466
15.2	连续铸轧的生产工艺流程	467
15.2.1	连续铸轧的生产工艺流程简介	467
15.2.2	几种连续铸轧机的工艺流程示意图	467
15.3	连续铸轧的主要工艺参数	468
15.3.1	铸轧区长度	469
15.3.2	铸轧速度	475
15.3.3	铸轧温度	475
15.3.4	前箱液面高度	476
15.3.5	供料嘴与铸轧辊间隙	478
15.3.6	冷却条件	480
15.3.7	轧制力	481
15.3.8	铸轧角	483
15.3.9	带坯速度	484
15.3.10	主要工艺参数之间的关系	485
15.4	连续铸轧生产与操作技术	489
15.4.1	连续铸轧生产前的准备	489
15.4.2	铸轧生产操作技术	490
15.4.3	铸轧板的冶金组织及质量控制	492
15.5	铝合金连续铸轧机的主要组成	492
15.5.1	熔炼系统	492
15.5.2	浇铸系统	493
15.5.3	铸轧系统	496
15.5.4	牵引卷取系统	500
15.5.5	液压系统和循环冷却水系统	502
15.5.6	几种连续铸轧机的主要技术参数	504
15.6	铝合金连续铸轧生产的主要工装	505
15.6.1	液面控制系统	505
15.6.2	铸轧辊	506
15.6.3	铸轧供料嘴	518
15.6.4	辊面润滑装置	522
16	铝合金连铸连轧技术	524
16.1	概述	524
16.1.1	连铸连轧的特点	524
16.1.2	连铸连轧生产方法分类	525

16.2	板带坯连铸连轧生产方法	525
16.2.1	哈兹莱特 (Hazelett) 双钢带式连铸连轧法	525
16.2.2	凯撒微型双钢带连铸连轧方法	532
16.2.3	双履带式劳纳法	533
16.2.4	英国曼式连铸机	534
16.3	线坯连铸连轧生产方法	535
17	铝合金冷轧技术	539
17.1	冷轧的特点及其分类	539
17.1.1	冷轧的特点	539
17.1.2	冷轧的分类	539
17.2	冷轧坯料种类及质量要求	541
17.2.1	冷轧坯料种类	541
17.2.2	坯料质量要求	541
17.3	冷轧铝及铝合金产品的生产流程	542
17.4	铝及铝合金冷轧的主要工艺参数	542
17.4.1	冷轧压下制度	542
17.4.2	冷轧张力	545
17.5	铝及铝合金冷轧板带材的质量控制	546
17.5.1	厚度控制	546
17.5.2	板形控制	553
17.5.3	表面质量控制	553
18	铝箔生产技术	561
18.1	铝箔的特点、品种规格与性能	561
18.1.1	铝箔的特点与发展	561
18.1.2	铝箔产品的品种规格	562
18.1.3	铝箔的物理和力学性能	563
18.2	铝箔生产的主要工艺流程	567
18.3	铝箔轧制的特点与坯料的要求	568
18.3.1	铝箔轧制的特点	568
18.3.2	铝箔坯料的类型及要求	568
18.4	铝箔轧制工艺参数的优化	570
18.4.1	影响铝箔轧制质量的因素	570
18.4.2	轧制工艺参数的优化	570
18.5	铝箔轧制时的厚度测量与控制	577
18.5.1	铝箔轧制时的厚度测量	577

18.5.2	铝箔轧制时的厚度控制	577
19	铝及铝合金板带箔材的分剪、精整与热处理技术	580
19.1	板带材的纵切与横切	580
19.1.1	纵切	580
19.1.2	横切	583
19.2	板带材的精整矫直	584
19.2.1	辊式矫直	584
19.2.2	钳式拉伸矫直	587
19.2.3	连续张力矫直	588
19.2.4	连续拉伸弯曲矫直	589
19.3	铝箔的合卷、分卷与清洗	590
19.3.1	铝箔的合卷	590
19.3.2	铝箔的分卷	591
19.3.3	铝箔的清洗	594
19.4	铝合金厚板的淬火与拉伸矫直技术	595
19.4.1	铝合金厚板的淬火	595
19.4.2	铝合金厚板的拉伸矫直	597
19.5	铝合金板带材的退火及人工时效	600
19.5.1	退火的特点及要求	600
19.5.2	退火工艺及人工时效制度	603
19.6	铝箔的退火工艺	604
19.6.1	铝箔坯料退火	604
19.6.2	毛料中间退火工艺的选择	605
19.6.3	铝箔成品退火及工艺参数的优化	606
19.6.4	铝箔退火的方式	609
19.6.5	消除退火铝箔表面污染的方法	609
19.7	铝合金板带箔材的检查、涂油与包装	610
19.7.1	检查	610
19.7.2	涂油	610
19.7.3	常用包装材料	611
19.7.4	包装标志	615
19.7.5	包装方法	615
20	铝及铝合金板带箔材板形与辊型控制技术	617
20.1	板形分类及其表示方法	617
20.1.1	板形的分类	617

20.1.2	板形的定量表示法	617
20.1.3	板凸度	619
20.1.4	边部减薄	620
20.2	影响板形的主要因素	621
20.2.1	轧制力变化对板形的影响	621
20.2.2	来料板凸度对板形的影响	621
20.2.3	热凸度变化对板形的影响	622
20.2.4	初始轧辊凸度对板形的影响	622
20.2.5	板宽变化对板形的影响	623
20.2.6	张力对板形的影响	623
20.2.7	轧辊接触状态对板形的影响	623
20.3	板形检测技术与装置	624
20.3.1	板形检测装置及其分类	624
20.3.2	板带板形检测仪	624
20.4	板形控制的主要方法及技术	627
20.4.1	弯辊	627
20.4.2	轧辊横移	631
20.4.3	轧辊交叉	638
20.5	轧辊辊型设计	638
20.5.1	板形与辊型	638
20.5.2	二辊板带轧机轧辊辊型挠度的计算	639
20.5.3	四辊板带轧机轧辊辊型挠度的计算	642
20.5.4	轧辊热凸度计算	644
20.6	热轧、热连轧铝板带材板形与凸度控制	648
20.6.1	板形板凸度调控手段和方法	648
20.6.2	典型的板形和凸度控制系统及发展方向	652
20.7	冷轧板带材的板形与辊型控制	655
20.7.1	冷轧板形控制系统组成及板形测量	655
20.7.2	冷轧板形控制技术	661
20.8	铝箔轧制时的辊型及板形控制技术	663
20.8.1	轧制前的准备	663
20.8.2	铝箔轧制的板形控制技术	665
20.8.3	铝箔轧制板形调节过程举例	667
20.9	轧辊的磨削	668
20.9.1	轧辊	668
20.9.2	轧辊磨床	671
20.9.3	轧辊磨削工艺	672

21 铝及铝合金板带箔的主要缺陷分析与质量控制	680
21.1 铝及铝合金铸轧板的主要缺陷分析	680
21.1.1 铸轧板内部缺陷	680
21.1.2 铸轧板表面和外形缺陷	683
21.2 铝及铝合金板带材的主要缺陷分析	686
21.2.1 铝及铝合金板带材缺陷的分类	686
21.2.2 铝及铝合金板带材的尺寸精度和形状缺陷	687
21.2.3 铝及铝合金板带材的表面缺陷	688
21.2.4 铝合金板带材的组织与性能缺陷	693
21.3 铝及铝合金板带材的质量控制	693
21.3.1 铝及铝合金热轧制品的质量控制	693
21.3.2 铝及铝合金冷轧制品的质量控制	695
21.4 铝及铝合金箔材的主要缺陷分析及质量控制	698
21.4.1 铝及铝合金箔材的主要缺陷分析	698
21.4.2 铝及铝合金箔材的质量控制	699
22 铝合金板带箔材加工设备	701
22.1 铸锭铣面及加热装置	701
22.1.1 铸锭铣面装置	701
22.1.2 铸锭加热装置	701
22.2 热轧机	703
22.2.1 几种系列的热轧机组	703
22.2.2 现代化热轧机组的技术特点及应用	707
22.3 板带连铸连轧及连续铸轧机组	711
22.3.1 板带连铸连轧机组	711
22.3.2 板带连续铸轧机组	713
22.4 冷轧机	717
22.4.1 几种典型的冷轧机技术性能	717
22.4.2 现代化冷轧机的结构及技术特点	721
22.5 铝箔轧机	723
22.5.1 铝箔轧机分类	723
22.5.2 几种典型的铝箔轧机技术性能	723
22.5.3 现代化铝箔轧机的结构及技术特点	728
22.6 板带箔材热处理设备	730
22.6.1 板带箔材热处理设备的分类及特点	730
22.6.2 典型的板带箔材热处理设备	730
22.7 板带箔材分剪及精整矫直设备	733