

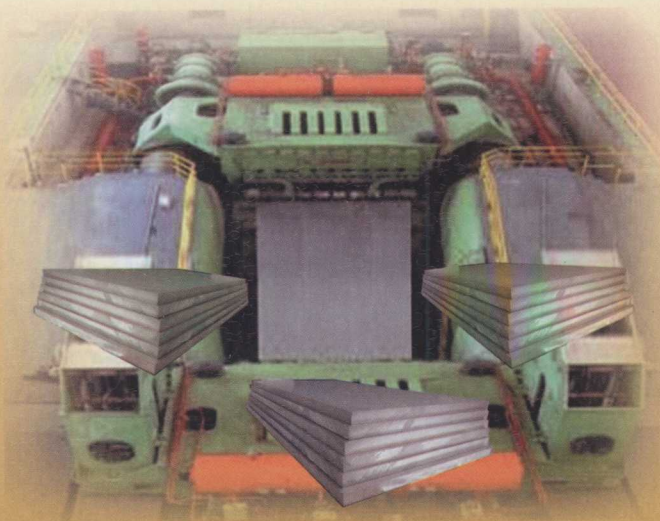
现代铝加工生产技术丛书

主编 钟利 赵世庆

铝合金中厚板生产技术

LÜHEJIN ZHONGHOUBAN SHENGCHAN JISHU

钟利 马英义 谢延翠 编著



冶金工业出版社

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

中国有色金属工业年鉴(2011) 中国有色金属工业年鉴(2011)

中国有色金属工业年鉴(2011) 中国有色金属工业年鉴(2011)

铝合金中厚板生产技术

中国有色金属工业年鉴(2011) 中国有色金属工业年鉴(2011)

中国有色金属工业年鉴(2011) 中国有色金属工业年鉴(2011)



中国有色金属工业出版社

中国有色金属工业出版社

现代铝加工生产技术丛书

主编 钟 利 赵世庆

铝合金中厚板生产技术

钟 利 马英义 谢延翠 编著

北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 简 介

本书是《现代铝加工生产技术丛书》之一,详细介绍和系统论述了铝合金中厚板生产工艺、技术、设备与质量控制等。全书共分10章,内容包括:铝合金牌号、状态及成分,变形铝合金的特性,铝合金轧制原理,铝合金板材的品种、生产方法及生产工艺流程,铝合金中厚板热轧技术,铝合金板形控制技术,铝合金中厚板热处理,铝合金中厚板精整技术,铝合金中厚板的缺陷分析与质量控制,铝合金中厚板生产工艺及性能数据等。在内容组织和结构安排上,力求理论联系实际,切合生产实际需要,突出实用性、先进性和行业特色,为读者提供一本实用的技术著作。

本书是铝及铝合金加工生产企业工程技术人员必备的技术读物,也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用,同时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

铝合金中厚板生产技术/钟利,马英义,谢延翠编著.
—北京:冶金工业出版社,2009.5

(现代铝加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4876-9

I. 铝… II. ①钟… ②马… ③谢… III. ①铝合金
—中板轧制 ②铝合金—厚板轧制 IV. TG339

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 062955 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmp. com. cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4876-9

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 5 月第 1 版,2009 年 5 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 11.375 印张; 334 千字; 342 页; 1-3000 册

38.00 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

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《丛书》前言

节约资源、节省能源、改善环境越来越成为人类生活与社会可持续发展的必要条件，人们正竭力开辟新途径，寻求新的发展方向 and 有效的发展模式。轻量化显然是有效的发展途径之一，其中铝合金是轻量化首选的金属材料。因此，进入 21 世纪以来，世界铝及铝加工业获得了迅猛的发展，铝及铝加工技术也进入了一个崭新的发展时期，同时我国的铝及铝加工产业也掀起了第三次发展高潮。2007 年，世界原铝产量达 3880 万 t（其中：废铝产量 1700 万 t），铝消费总量达 4275 万 t，创历史新高；铝加工材年产量达 3200 万 t，仍以 5%~6% 的年增长率递增；我国原铝年产量已达 1260 万 t（其中：废铝产量 250 万 t），连续五年位居世界榜首；铝加工材年产量达 1176 万 t，一举超过美国成为世界铝加工材产量最大的国家。与此同时，我国铝加工材的出口量也大幅增加，我国已真正成为世界铝业大国，铝加工业大国。但是，我们应清楚地看到，我国铝加工材在品种、质量以及综合经济技术指标等方面还相对落后，生产装备也不甚先进，与国际先进水平仍有一定差距。

为了促进我国铝及铝加工技术的发展，努力赶超世界先进水平，向铝业强国和铝加工强国迈进，还有很多工作要做：其中一项最重要的工作就是总结我国长期以来在铝加工方面的生产经验和科研成果；普及和推广先进铝加工技术；提出我国进一步发展铝加工的规划与方向。

几年前，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合作，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编写出版了大型工具书——《铝加工技术实用手册》，该书出版后受到广大读者，特别是铝加工企业工程技术人员的好评，对我国铝加工业的发展起到一定的促进作用。但由于铝加工工业及技术涉及面广，内容十分

丰富,《铝加工技术实用手册》因篇幅所限,有些具体工艺还不尽深入。因此,有读者反映,能有一套针对性和实用性更强的生产技术类《丛书》与之配套,相辅相成,互相补充,将能更好地满足读者的需要。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计划在“十一五”期间,组织国内铝加工行业的专家、学者和工程技术人员编写出版《现代铝加工生产技术丛书》(简称《丛书》),以满足读者更广泛的需求。《丛书》要求突出实用性、先进性、新颖性和可读性。

《丛书》第一次编写工作会议于2006年8月20日在北戴河召开。会议由中国有色金属学会合金加工学术委员会主任谢水生主持,参加会议的单位有:西南铝业(集团)有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、华北铝业有限公司的代表。会议成立了《丛书》编写筹备委员会,并讨论了《丛书》编写和出版工作。2006年年底确定了《丛书》的分工。

第一次《丛书》编写工作会议以后,各有关单位领导十分重视《丛书》的编写工作,分别召开了本单位的编写工作会议,将编写工作落实到具体的作者,并都拟定了编写大纲和目录。中国有色金属学会的领导也十分重视《丛书》的编写工作,将《丛书》的编写出版工作列入学会的2007~2008年工作计划。

为了进一步促进《丛书》的编写和协调编写工作,编委会于2007年4月12日在北京召开了第二次《丛书》编写工作会议。参加会议的有来自西南铝业(集团)有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、上海瑞尔实业有限公司、广东中山市金胜铝业有限公司、华北铝业有限公司和冶金工业出版社的代表21位同志。会议进一步修订了《丛书》各册的编写大纲和目录,落实和协调了各册的编写工作和进度,交流了编写经验。

为了做好《丛书》的出版工作,2008年5月5日在北京召开

了第三次《丛书》编写工作会议。参加会议的单位有：西南铝业（集团）有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、广东中山市金胜铝业有限公司、上海瑞尔实业有限公司和冶金工业出版社，会议代表共 18 位同志。会议通报了编写情况，协调了编写进度，落实了各分册交稿和出版计划。

《丛书》因各分册由不同单位承担，有的分册是合作编写，编写进度有快有慢。因此，《丛书》的编写和出版工作是统一规划，分步实施，陆续尽快出版。

由于《丛书》组织和编写工作量大，作者多和时间紧，在编写和出版过程中，可能会有不妥之处，恳请广大读者批评指正，并提出宝贵意见。

《现代铝加工生产技术丛书》编委会

2008 年 6 月

前 言

近几十年来,我国铝加工业发生了巨大变化,许多企业通过引进、消化、吸收和自主创新,一批新技术、新工艺、新材料、新装备得到推广和应用,一大批高精尖产品不但满足了国内经济建设的需要,而且大量出口国外。目前我国已经成为世界铝加工材生产和消费第一大国。但是,我们应当清醒地看到,我国铝加工工业尤其是铝板材生产技术与国际先进水平相比还有较大差距,特别是自主创新能力方面还较低,需加快步伐,提高我国铝加工产品在国际市场上的竞争能力。为此,作者在总结了长期以来在生产第一线从事铝及铝合金中厚板生产的实际经验与科研开发工作的基础上,参考和吸收了国内外有关方面的研发成果和经验,编写了本书,以期推广国内外的先进技术和生产经验,使我国铝及铝合金中厚板生产技术不断提高,并对促进我国铝及铝合金中厚板生产技术的发展有所裨益。

本书详细介绍和系统论述了铝合金中厚板生产工艺、技术、设备与质量控制等。内容主要包括:铝合金牌号、状态及成分,变形铝合金的特性,铝合金轧制原理,铝合金板材品种、生产方法及生产工艺,铝合金中厚板热轧技术,铝合金板形控制技术,铝合金中厚板热处理,铝合金中厚板精整技术,铝合金中厚板的缺陷分析与质量控制,铝合金中厚板生产工艺及性能数据等。并列举了大量在生产中容易出现的技术、质量难题及解决方法。在内容组织和结构安排上,力求理论联系实际,切合生产实际需要,突出实用性、先进性和行业特色,为读者提供一本实用的技术著

作。

本书是铝及铝合金加工生产企业工程技术人员必备的技术读物，也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用，同时可作为大专院校有关专业师生的参考书。

本书第1、2、6章由钟利编写，第3、5、7、8、9、10章由马英义编写，第4章由谢延翠编写。全书由谢水生教授和刘静安教授审定。

本书在编写过程中，得到了许多专家和工程技术人员的支持与帮助，同时参考了国内外有关专家和学者的一些文献资料及企业的一些图表、数据等，并得到中国有色金属学会合金加工学术委员会和冶金工业出版社的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者
2009年2月

目 录

1 铝合金牌号、状态及成分	1
1.1 铝合金的分类	1
1.2 中国变形铝合金的牌号	2
1.2.1 变形铝合金牌号及表示方法	2
1.2.2 变形铝合金的新旧牌号对照	4
1.3 中国变形铝合金状态代号及其表示方法	6
1.3.1 基础状态代号	6
1.3.2 细分状态代号	7
1.3.3 原状态代号与新状态代号的对照	13
1.4 变形铝合金的化学成分	13
2 变形铝合金的特性	32
2.1 1×××系铝合金	32
2.1.1 1×××系铝合金的特点	32
2.1.2 合金元素和杂质元素在1×××系 铝合金中的作用	32
2.2 2×××系铝合金	33
2.2.1 2×××系铝合金的特点	33
2.2.2 合金元素和杂质元素在2×××系 铝合金中的作用	33
2.3 3×××系铝合金	38
2.3.1 3×××系铝合金的特点	38
2.3.2 合金元素和杂质元素在3×××系 铝合金中的作用	38
2.4 4×××系铝合金	39
2.4.1 4×××系铝合金的特点	39

2.4.2	合金元素和杂质元素在 $4 \times \times \times$ 系 铝合金中的作用	40
2.5	$5 \times \times \times$ 系铝合金	40
2.5.1	$5 \times \times \times$ 系铝合金的特点	40
2.5.2	合金元素和杂质元素在 $5 \times \times \times$ 系 铝合金中的作用	40
2.6	$6 \times \times \times$ 系铝合金	42
2.6.1	$6 \times \times \times$ 系铝合金的特点	42
2.6.2	合金元素和杂质元素在 $6 \times \times \times$ 系 铝合金中的作用	42
2.7	$7 \times \times \times$ 系铝合金	44
2.7.1	$7 \times \times \times$ 系铝合金的特点	44
2.7.2	合金元素和杂质元素在 $7 \times \times \times$ 系 铝合金中的作用	45
2.8	主要铝合金的相组成	48
3	铝合金轧制原理	51
3.1	简单轧制过程及轧制变形参数	51
3.1.1	简单轧制过程	51
3.1.2	轧制变形指数	52
3.1.3	轧制变形区的几何参数	53
3.2	轧制过程建立的条件	54
3.2.1	轧制的过程	54
3.2.2	轧制时轧件咬入条件	55
3.3	轧制金属变形的规律	58
3.3.1	轧制时的前滑与后滑	58
3.3.2	沿轧件断面高向的流动和变形的不均匀性	61
3.3.3	轧制时的横向变形-宽展	62
3.3.4	轧制时的轧件断面长度方向的变形-延伸	63
3.4	轧制压力	64
3.4.1	轧制压力计算	64

3.4.2 单位轧制压力的计算	66
3.4.3 金属的变形抗力	67
3.4.4 轧制过程的温度规律	67
3.5 轧制的弹塑曲线及板厚纵向控制	71
3.5.1 轧机的弹性变形	71
3.5.2 轧件的塑性特性曲线	74
3.5.3 轧制过程的弹塑曲线	74
3.5.4 板厚控制原理及方法	76
4 铝合金板材的品种、生产方法及生产工艺流程	79
4.1 铝合金板材产品规格	79
4.2 铝合金板材产品状态	79
4.3 铝合金板材生产方法	81
4.4 铝合金在塑性加工时的组织与性能变化	82
4.4.1 热变形所引起铝合金组织性能的变化	82
4.4.2 冷变形对铝材组织性能的影响	84
4.5 铝合金板材产品工序简介	86
4.5.1 铸锭设计	86
4.5.2 热轧	86
4.5.3 冷轧	87
4.5.4 热处理	88
4.6 铝合金中厚板生产工艺流程	90
4.6.1 制定工艺流程的原则	90
4.6.2 铝合金中厚板生产工艺流程	90
5 铝合金中厚板热轧技术	93
5.1 热轧的特点与产品方案	93
5.1.1 热轧的特点	93
5.1.2 产品方案与工艺流程	94
5.2 热轧前的准备	94
5.2.1 铸锭的选择	94

5.2.2	铸锭均匀化退火	99
5.2.3	铸锭的表面处理	103
5.2.4	铸锭的加热	109
5.3	热轧制度的确定与工艺参数的优化	114
5.3.1	热轧制度的确定	114
5.3.2	热轧机轧制规程的制定及轧制生产	118
5.4	热轧时的冷却与润滑	145
5.4.1	热轧乳化液的基本功能	145
5.4.2	热轧乳化液的基本组成	145
5.4.3	热轧乳化液的润滑机理	147
5.4.4	影响热轧乳化液润滑性能的因素	148
5.4.5	热轧乳化液中添加剂的作用	150
5.4.6	配制热轧乳化液用水	152
5.4.7	热轧乳化液的配制、使用维护与管理	153
6	铝合金板形控制技术	160
6.1	板形分类及其表示方法	160
6.1.1	板形的分类	160
6.1.2	板形的表示方法	160
6.1.3	横向厚差	161
6.1.4	板形与横向厚差的关系	162
6.1.5	辊型及辊缝形状	163
6.2	影响辊缝形状的主要因素	164
6.2.1	轧辊的弹性弯曲	164
6.2.2	轧辊的热膨胀	165
6.2.3	轧辊的弹性压扁	165
6.2.4	轧辊的磨损	165
6.2.5	其他方面	166
6.3	辊型控制方法	166
6.3.1	调温控制法	166
6.3.2	变弯矩控制法	167

6.3.3 液压弯辊	167
6.4 板形控制新技术	170
6.4.1 HC 轧机	170
6.4.2 PC 轧机	171
6.4.3 双轴承座工作辊弯曲装置 (DC-WRB)	171
6.4.4 VC 轧辊	172
6.4.5 FFC 轧机	173
6.4.6 CVC 轧机	174
6.5 辊型设计	174
6.5.1 轧辊挠度的计算	174
6.5.2 辊型设计	178
6.5.3 辊型的选择与配置	179
6.6 轧辊的磨削	180
6.6.1 轧辊	180
6.6.2 轧辊磨床	182
6.6.3 轧辊磨削工艺	184
7 铝合金中厚板热处理	196
7.1 概述	196
7.1.1 热处理的分类	196
7.1.2 热处理的加热、保温和冷却	196
7.2 铸造组织与均匀化	197
7.2.1 铸态铝合金组织和性能特征	197
7.2.2 铸态铝合金均匀化退火时组织和性能的变化	199
7.2.3 均匀化退火工艺	201
7.3 回复、再结晶	204
7.3.1 冷变形金属在加热中组织及性能的变化	204
7.3.2 回复	205
7.3.3 再结晶	207
7.3.4 再结晶晶粒长大	216
7.3.5 铝合金中厚板材退火工艺	219

7.4 淬火	223
7.4.1 固溶处理	223
7.4.2 铝合金固溶处理后性能的变化	224
7.4.3 铝合金中厚板的淬火工艺	226
7.5 时效	233
7.5.1 脱溶序列及脱溶相的结构	234
7.5.2 铝合金时效强化机理	244
7.5.3 铝合金中厚板时效工艺	245
8 铝合金中厚板精整技术	255
8.1 中厚板材的锯切	255
8.1.1 概述	255
8.1.2 中厚板材锯切工艺控制要点	256
8.2 中厚板材的剪切	257
8.2.1 中厚板剪切机的基本类型和特点	257
8.2.2 中厚板剪切机结构	258
8.2.3 中厚板材剪切断面的各部分名称	261
8.2.4 剪刀的调整和剪切毛刺的消除	262
8.2.5 中厚板材剪切工艺控制要点	264
8.3 中厚板材的矫直	264
8.3.1 概述	264
8.3.2 辊式矫直	265
8.3.3 滚平压光	271
8.3.4 钳式拉伸矫直	273
8.3.5 铝合金中厚板的拉伸	274
8.4 酸洗	279
8.4.1 酸洗的作用	279
8.4.2 酸洗的工艺流程	280
8.5 铝合金中厚板材成品检验	280
8.5.1 产品的尺寸和表面检查	280
8.5.2 组织及性能检查	281

8.6 铝合金中厚板材的涂油、包装、标志、运输与储存	281
8.6.1 铝合金中厚板材的涂油	281
8.6.2 铝合金中厚板材的包装	283
8.6.3 铝合金中厚板材的包装标志	290
8.6.4 铝合金中厚板材的运输	291
8.6.5 铝合金中厚板材的储存	291
9 铝合金中厚板的缺陷分析与质量控制	293
9.1 铝合金中厚板的缺陷分析	293
9.1.1 铝合金中厚板缺陷的分类	293
9.1.2 铝合金中厚板的尺寸精度和形状缺陷	293
9.1.3 铝合金中厚板表面缺陷	295
9.1.4 铝合金中厚板的组织与性能缺陷	302
9.2 铝合金中厚板材的检验与质量控制	302
9.2.1 铸锭验收的检验与质量控制	303
9.2.2 铸块铣面及蚀洗工序检验与质量控制	303
9.2.3 铸块加热工序质量检验与质量控制	305
9.2.4 中厚板热轧工序的质量检验与质量控制	305
9.2.5 中厚板热处理工序检验与质量控制	309
9.2.6 中厚板精整工序检验与质量控制	311
9.2.7 中厚板材成品验收工序检验与质量控制	316
9.2.8 中厚板材组织性能检验取样规定与审查处理	320
9.2.9 中厚板板材成品检查程序	322
10 铝合金中厚板生产工艺及性能数据	323
10.1 铝合金中厚板生产工艺简介	323
10.1.1 1100H112 铝合金厚板生产工艺	323
10.1.2 2A12T451 铝合金预拉伸板生产工艺	324
10.1.3 3003H14 铝合金厚板生产工艺	325
10.1.4 4004F 铝合金真空钎焊包铝板生产工艺	326
10.1.5 5083H321 铝合金厚板生产工艺	326

10.1.6	6061T6 铝合金厚板生产工艺	328
10.1.7	7075T7651 铝合金预拉伸板生产工艺	329
10.1.8	2A11H234 铝合金菱形花纹板生产工艺	330
10.1.9	5A06H34 铝合金厚板生产工艺	331
10.2	铝合金中厚板实测性能数据	332
参考文献		342