

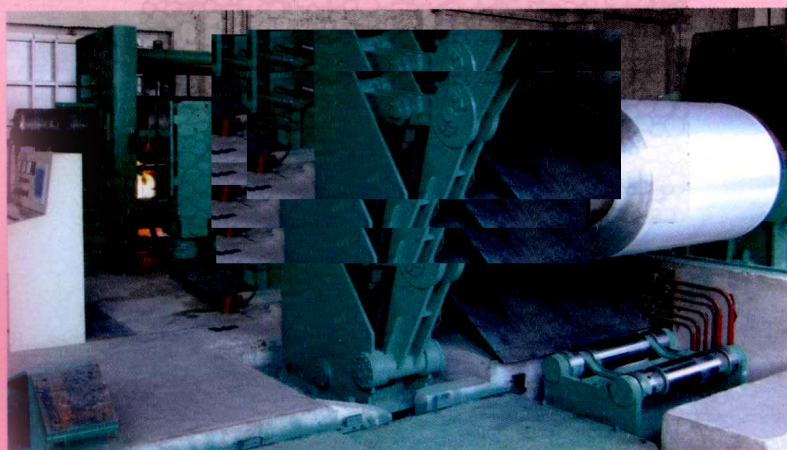
现代铝加工生产技术丛书

主编 周江 赵世庆

铝合金连续铸轧和 连铸连轧技术

LÜHEJIN LIANXU ZHUZHA HE
LIANZHU LIANZHA JISHU

侯波 李永春 李建荣 谢水生 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

现代铝加工生产技术丛书

主编 周 江 赵世庆

铝合金连续铸轧和 连铸连轧技术

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 简 介

本书是《现代铝加工生产技术丛书》之一,详细介绍了铝合金连续铸轧和连铸连轧生产技术、工艺与设备等。全书共分13章,内容主要分为两部分:第1部分为第1~12章,详细介绍和系统论述了铝合金连续铸轧技术、工艺与设备;第2部分为第13章,详细介绍了铝合金连铸连轧技术、工艺与设备等。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,同时还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

铝合金连续铸轧和连铸连轧技术/侯波等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 10

(现代铝加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-5349-7

I. ①铝… II. ①侯… III. ①铝合金—连续铸造
②铝合金—连续轧制 IV. ①TG292

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 167514 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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5349-7

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 10 月第 1 版, 2010 年 10 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 11 印张; 323 千字; 329 页

36.00 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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《现代铝加工生产技术丛书》

编辑委员会

主 编 副 主 编 副 编	编 委	周江	赵世庆		
		谢水生	刘静安		
		吕新宇	尹晓辉	李建荣	熊柏青
		杨焕文	吴小源	李学朝	
		(按姓氏笔画排列)			
		马英义	王华春	尹晓辉	方清万
		王德满	田树	左宏卿	李迅
		李响	李学朝	李建荣	李念奎
		李建湘	刘庆	刘玉珍	刘志铭
		刘静安	朱毅	闫维刚	吕新宇
		何峰	吴小源	陈昌云	陈思仁
		杨志兵	杨焕文	张宏伟	张登科
		宋晓辉	苏堪祥	周江	单长智
		范生艳	武红林	周学博	钟利
		侯绎	侯波	姜文举	赵世庆
		郭金龙	贺金宇	段瑞芬	凌杲
		聂波	唐剑	黄凯	黄国杰
		谢水生	谢延翠	谭学余	熊柏青
		樊建中	魏长传		

《现代铝加工生产技术丛书》

主要参编单位

东北轻合金有限责任公司

西南铝业（集团）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

《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），连续五年位居世界首位；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、华北铝业有限责任公司的代表。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》的编写分工。

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、华北铝业有限责任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。

另外，《丛书》编写和出版持续时间较长，在编写和出版过程中，参编人员有所变化，敬请读者见谅。

《现代铝加工生产技术丛书》编委会

2008 年 6 月

前 言

板带铸轧技术的发展至今已有 150 多年历史了，早在 1846 年，英国的贝塞麦（Bessemer）就提出了铸轧的方法。在这以后的近 100 年里，该项技术一直不为人们所重视，直到 20 世纪 30 年代，人们重新对该项技术进行了研究，并首先在有色金属领域取得了成功，此后在黑色金属领域也取得了阶段性进展。板带连续铸轧法和连铸连轧法与传统生产模式相比，具有很多独特的优越性，因此，得到世界各国广泛关注和研究，在我国也得到快速发展。

板带铸轧技术的迅速发展，推动了板带铸轧理论研究不断深入，但目前的理论研究远滞后于生产技术。作者为多年从事铸轧生产的技术人员，并在铸轧理论研究方面做了大量的工作。为了满足广大一线操作人员、工程技术人员、科技工作者提高铸轧理论研究水平和铸轧操作水平的需要，在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的组织下，作者在总结了多年来在生产第一线从事铝加工的实际经验和科研开发成果的基础上，参考和吸收了大量的最新的文献资料和科研生产成果，编写了本书，以期对我国铝合金连续铸轧和连铸连轧技术的发展有所裨益。

本书共分 13 章，内容主要分为两部分：第 1 部分为第 1~12 章，详细介绍和系统论述了铝合金连续铸轧技术、工艺与设备；第 2 部分为第 13 章，详细介绍了铝合金连铸连轧技术、工艺与设备等。具体内容包括：绪论、连续铸轧技术的特性和分类、连续铸轧的工艺流程及主要参数、连续铸轧生产线的主要设备、连续

铸轧的主要工装设备、连续铸轧生产过程及控制、连续铸轧关键技术、铸轧带材板形和质量控制技术、铸轧带坯的冶金组织及性能、铸轧坯冷轧后的组织及性能、铸轧缺陷及预防措施、连续铸轧技术的发展趋势、铝合金连铸连轧技术等。

本书在结构上尽量做到简明扼要，在内容上突出实用性和先进性，并在书中列举了生产中容易出现的质量问题和解决方法，力争用理论指导实践，用实践证实理论，目的是为读者提供一本理论与实践相结合的技术读本。

本书是铝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，同时也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

本书第1~7章由侯波编写，第8、9章由李永春编写，第10~13章由李建荣、谢水生编写，全书由谢水生和刘静安教授审定。

本书在编写过程中，得到了中国铝业西北铝加工分公司的支持以及同事们的帮助，同时参考了国内外有关专家、学者的一些文献资料、技术论著和一些铝加工企业的图表、数据等技术资料，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支持，在此一并表示衷心感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

作 者
2010年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 国外发展简况	1
1.2 国内发展简况	4
1.3 铝合金连续铸轧设备的分类	9
1.4 连续铸轧和连铸连轧技术的区别及简介	9
1.4.1 连续铸轧和连铸连轧技术的主要区别	9
1.4.2 连续铸轧和连铸连轧技术的简介	10
2 连续铸轧技术的特性和分类	11
2.1 连续铸轧法的特性	11
2.1.1 连续铸轧的优点	11
2.1.2 连续铸轧的缺点	12
2.2 连续铸轧法的分类	12
2.2.1 按板坯厚度分类	12
2.2.2 按辊径大小分类	12
2.2.3 按轧辊驱动方式分类	12
2.2.4 按轧辊辊缝控制系统分类	13
2.2.5 按轧辊和金属的流向分类	13
2.3 几种连续铸轧机的主要技术参数	15
2.4 连续铸轧的基本原理及有关理论	18
2.4.1 连续铸轧的基本原理	18
2.4.2 连续铸轧的有关理论	19
3 连续铸轧的工艺流程及主要参数	20
3.1 连续铸轧的工艺流程	20
3.1.1 合金的配制及熔炼	20
3.1.2 浇注及铸轧	20

3.1.3 铸轧带坯引出及卷取	20
3.2 连续铸轧的主要工艺参数	23
3.2.1 铸轧区长度	23
3.2.2 铸轧速度	34
3.2.3 铸轧温度	34
3.2.4 前箱液面高度	35
3.2.5 供料嘴与铸轧辊间隙	40
3.2.6 冷却条件	42
3.2.7 轧制力	44
3.2.8 铸轧角	48
3.2.9 带坯速度	50
3.2.10 主要工艺参数之间的关系	52
4 连续铸轧生产线的主要设备	58
4.1 熔炼系统	58
4.1.1 熔炼炉的分类	58
4.1.2 电加热式反射炉	60
4.1.3 火焰反射式炉	60
4.1.4 蓄热室式预热装置结构、原理及特点	64
4.1.5 电磁搅拌技术	67
4.1.6 熔炼炉和静置炉的布置方式	69
4.1.7 熔铸技术的发展趋势	70
4.2 浇铸系统	71
4.2.1 流槽	72
4.2.2 前箱和金属液面控制装置	73
4.2.3 供料嘴	74
4.2.4 铝钛硼丝送进装置	74
4.3 铸轧系统	75
4.3.1 铸轧系统的主要组成	75
4.3.2 典型 $\phi 820\text{mm} \times 1600\text{mm}$ 双辊倾斜式铸轧机 技术参数	81

4.4 牵引卷取系统	82
4.4.1 牵引机	83
4.4.2 剪切机	83
4.4.3 多辊矫直机	84
4.4.4 卷取机	85
4.5 液压系统	86
4.6 循环冷却水系统	86
4.6.1 循环冷却水系统的分类	86
4.6.2 循环冷却水系统的组成	87
4.6.3 循环冷却水的运行方式	87
4.6.4 循环冷却水的质量要求	87
4.6.5 循环冷却水的水质处理	88
5 连续铸轧的主要工装设备	89
5.1 液面控制系统	89
5.1.1 杠杆式控流器	89
5.1.2 浮标式控流器	90
5.1.3 非接触式液位控制器	90
5.2 铸轧辊	91
5.2.1 铸轧辊的要求	91
5.2.2 铸轧辊的组成	92
5.2.3 铸轧辊的装配	95
5.2.4 铸轧辊的水冷却方式	96
5.2.5 铸轧辊长度和直径的确定	101
5.2.6 铸轧辊的表面温度	101
5.2.7 铸轧辊的凸度	103
5.2.8 铸轧辊的使用方法	105
5.2.9 铸轧辊的缺陷	107
5.2.10 铸轧辊套的车磨	108
5.3 铸轧供料嘴	108
5.3.1 供料嘴的材质选择	109

5.3.2	供料嘴结构	109
5.3.3	供料嘴的制作	112
5.3.4	新型供料嘴的特点	114
5.4	辊面润滑装置	115
5.4.1	毛毡清辊器	115
5.4.2	水基润滑喷涂	116
5.4.3	烟炭喷涂装置	116
6	连续铸轧生产过程及控制	118
6.1	备料	118
6.1.1	铝锭或电解铝液	118
6.1.2	废料	120
6.1.3	中间合金及金属添加剂	120
6.1.4	熔剂	123
6.2	熔炉的准备	126
6.2.1	烘炉	126
6.2.2	清炉和大清炉	129
6.2.3	换炉和洗炉	130
6.2.4	装炉	130
6.3	熔体准备	130
6.4	铸轧生产前准备	131
6.4.1	浇注系统的组装	131
6.4.2	铸轧机的准备	131
6.5	铸轧生产	132
6.5.1	铸轧立板阶段	132
6.5.2	稳定工艺阶段	134
6.5.3	正常出板阶段	134
6.6	铸轧停机	135
6.6.1	正常停机	136
6.6.2	意外事故停机	136

7 连续铸轧关键技术	137
7.1 合金成分控制技术	137
7.1.1 配料	137
7.1.2 成分调整	139
7.2 熔体净化技术	141
7.2.1 铝熔体中夹杂及除渣原理	141
7.2.2 铝熔体的吸气与脱气原理	152
7.2.3 联合在线精炼	160
7.2.4 真空处理法	167
7.3 铸轧坯的晶粒控制技术	167
7.3.1 控制过冷度	168
7.3.2 形核变质处理	169
7.3.3 动态晶粒细化	185
8 铸轧带材板形和质量控制技术	191
8.1 铸轧带材板形控制技术	191
8.1.1 衡量铸轧板板形的指标	191
8.1.2 影响铸轧板形的因素	194
8.1.3 工艺参数对铸轧板形的影响	199
8.2 铸轧带坯质量的计算	202
9 铸轧带坯的冶金组织及性能	203
9.1 铸轧带坯的结晶特点	203
9.1.1 铸轧带坯纵截面上、下层的组织	203
9.1.2 铸轧带坯上、下表面组织的差异	205
9.1.3 铸轧带坯上、下表面的成分	207
9.1.4 铸轧带坯的偏析	208
9.2 铸轧金属变形的特点	209
9.3 铸轧带坯的组织	210
9.3.1 铸轧带坯的组织特点	210

9.3.2	铸轧带坯的显微组织组成	213
9.3.3	铸轧带坯与热轧坯料退火组织的比较	214
9.4	铸轧带坯的高倍组织	215
9.5	铸轧带坯的晶粒度	216
9.5.1	未添加变质剂的晶粒	216
9.5.2	添加变质剂的晶粒	217
9.5.3	铸轧带坯晶粒特点	218
9.5.4	影响铸轧带坯晶粒度的因素	220
9.5.5	铸轧带坯的低倍检查方法	221
9.6	铸轧带坯性能	221
9.6.1	铸轧带坯及热轧带坯的力学性能	222
9.6.2	铸轧带坯的各向异性	223
9.6.3	铸轧带坯的再结晶温度	223
10	铸轧坯冷轧后的组织及性能	225
10.1	冷轧板的组织及性能	225
10.1.1	冷轧板的再结晶特性	225
10.1.2	冷轧板的力学性能	228
10.1.3	冷轧板的深冲性能	232
10.2	铸轧坯生产铝箔的组织及性能	241
10.2.1	铝箔毛料对铸轧带坯的质量要求	242
10.2.2	铝箔的组织	246
10.2.3	铝箔的力学性能	249
10.2.4	双零铝箔的再结晶温度	258
10.2.5	铝箔的针孔数	258
10.2.6	铝箔破裂强度	259
10.2.7	铝箔的电学性能	260
10.2.8	用铸轧坯料生产铝箔存在的问题	262
11	铸轧缺陷及预防措施	263
11.1	铸坯缺陷及预防措施	263

11.1.1	分层裂纹	263
11.1.2	通条横裂纹	265
11.1.3	通条划沟	265
11.1.4	热带	266
11.1.5	气道	267
11.1.6	粗大晶粒	269
11.1.7	晶粒不均	270
11.1.8	辊痕	271
11.1.9	裂边	271
11.1.10	飞边	272
11.1.11	缩边	272
11.1.12	横向细纹	272
11.1.13	重熔斑纹	272
11.1.14	晶内偏析	273
11.1.15	表面偏析带	273
11.1.16	中心面偏析	275
11.1.17	纵向条纹	276
11.1.18	夹杂	277
11.2	轧制缺陷及预防措施	277
11.2.1	黏辊	277
11.2.2	黏板	278
11.2.3	非金属压入	278
11.2.4	金属压入	279
11.2.5	机械损伤	279
11.2.6	腐蚀	279
11.2.7	串层	280
11.2.8	塔形	280
11.2.9	凸度超标	280
11.2.10	横向厚度差超标	282
11.2.11	纵向厚度差超标	282
11.2.12	板形不良	282