

# 当代铝箔生产 工艺及装备

DANGDAI LÜBO SHENGCHAN GONGYI JI ZHUANGBEI

辛达夫 编著 王祝堂 主审



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 当代铝箔生产工艺及装备

辛达夫 编著  
王祝堂 主审

北京  
冶金工业出版社  
2013

## 内 容 提 要

本书共分 14 章, 主要内容包括: 铝箔及其应用, 铝箔冶金品质的基础——熔铸, 铝箔带坯, 铝箔的退火, 铝箔的生产, 铝箔轧制过程中的厚差控制, 铝箔轧制过程中的板形控制, 铝箔生产的自动化管理, 铝箔轧制过程中的火灾和预防, 铝箔的双合, 分卷和分切, 成品退火, 典型的板带箔生产工艺, 铝箔的精加工。

本书可供从事相关专业的工程技术人员使用, 也可供大专院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

当代铝箔生产工艺及装备/辛达夫编著. —北京: 冶金工业出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-5024-6300-7

I. ①当… II. ①辛… III. ①铝—金属箔—生产工艺  
②铝—金属箔—生产设备 IV. ①TG146. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 159216 号

出 版 人 谭学余

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 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 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 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6300-7

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

2013 年 8 月第 1 版, 2013 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 388 千字; 238 页

48.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

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)

## 序

---

1910年铝箔的工业化生产几乎同时在瑞士与美国诞生，至今有100多年了。铝箔在我国的工业化生产始于1932年加拿大铝业公司、英国铝业公司、瑞士铝业公司合资在上海建的华铝钢精厂的建成投产，直到1960年7月该厂作为一家外商企业有偿收为国有止，我国仅此一家铝箔企业，在以后的20年内各地以此厂为蓝本建了九个铝箔厂，但总年生产能力还不到1.35万吨。

1980年东北轻合金加工厂从德国阿申巴赫公司引进1台1200mm四辊可逆式万能铝箔轧机投产开了中国现代化铝箔工业的先河，自此以后，我国铝箔工业进入了高速持续建设与生产高水平时期，所有建成项目都达当时国际水平或国际领先水平，截止到2010年12月，所有低水平的二辊箔轧机都已按国家结构调整政策全面淘汰，全国有大、中型现代化铝箔企业67家，年总生产能力265万吨，产量190万吨，扣除20%的厚铝箔，与北美及西欧各国的总和相差无几；我国铝箔工业的装机水平整体上比任何一个国家的都高，拥有2000mm级箔轧机38台，其中引进的25台；自1918年以来我国一直是铝箔净进口国，2004年出口7.5万吨，进口6.44万吨，净出口1.06万吨。

我国从2007年进入世界铝箔工业初级强国，但要成为像德国那样的强国还任重道远。还要做许多工作，特别是在研发、技术创新与装备设计与制造方面。在包装箔生产方面要向德国格雷文布洛公司学习；在空调散热箔方面，瑞典萨帕铝业公司与日本神户钢铁公司是学习的榜样；德国阿申巴赫公司、日本东芝公司、美国通用电气公司、欧洲ABB公司、德国西门子公司，是我们在装备设计与集成方面追赶的目标。只有

在这些方面大体与它们当时的水平相当，我国就成为一个真正的铝箔强国了，但愿这一天能早日到来。

本书作者、教授级高级工程师、资深铝箔专家辛达夫是新中国铝箔工业开拓者之一，虽年过7旬，至今仍活跃在铝加工产业，着实难能可贵。本书是他从事铝平轧产业58年的总结，也是他对国内外现代铝箔生产技术与装备的总结，他到苏联、德国、日本、美国、意大利、法国、比利时、卢森堡、印度尼西亚等国家实习、工作与考察过，在我国铝箔界享有很高的声誉。本书最大的特点是实用性很强，其中一些做法可以拿来就用，当然不能生搬硬套，必须根据各自的实际创造性地灵活运用与借鉴。

本书的出版会为我国的铝箔工业起到推动作用，由于时间所限，书中难免存在疏漏之处，望广大读者批评指正。

王祝堂

2013年4月

## 前 言

---

薄得像纸一样的金属薄片被称为箔，自然，由铝制成的这种薄片即铝箔。至于多薄才算箔材，不同国家划分界线不尽相同。我国国家标准规定，铝箔是指厚度小于0.2mm的平轧产品。比较经济的最小轧制厚度为6 $\mu$ m。自1910年在欧美用带材轧制法进行工业化生产铝箔以来，当今的铝箔的生产面貌，从规模到品质，从工艺到设备都是当年无法同日而语的。国内外所有铝箔生产厂家都在不遗余力地试图以最小能耗、最低成本、最高的生产率生产最具市场竞争力的优质铝箔。

铝箔业界普遍认为铝箔的工业化始于瑞士的 Robert Victor Neher 于1910年成功取得用带材法轧制铝箔的专利<sup>[1]</sup>。但也有的资料表明，美国铝业公司（Alcoa）同样在1910年用带材法轧制铝箔，开始批量生产<sup>[2]</sup>。这一差异对我们并不重要。但一百年来欧美的铝箔生产技术一直占据铝箔生产强国地位的历程到值得我们认真探讨，直到进入21世纪这一形势才开始有所改变。

我国的铝箔生产起步并不晚。1932年由外资在上海建成上海钢精厂（原上海铝材一厂）生产铝板带箔。投产初期号称远东第一（日本的铝箔工业也是在同期起步）。由于历史原因，一直到新中国成立，该厂生产规模并无发展。在我国第一个五年计划期间，苏联援建的第一个铝加工厂——东北轻合金加工厂二期规划中曾列入铝箔工程，又因历史原因，错过了铝箔发展更新换代的好时机，不得不在20世纪60年代上了一条无法正常起动的、只有30年代水平的铝箔生产线。该生产线是仅凭工艺设计人员和大学老师参观上海铝材一厂的印象作为参照，工艺设计几乎是上海铝材一厂的翻版，设计年产量5000t，设备则以大学毕业设计形式

绘制出的制造图，一次投产加工 18 种 93 台（套）铝箔生产设备，但制造出的设备却无一台能正常使用。其中重锤式打包机、分卷机连修改的余地都没有，只好整机报废。

笔者当时参与了该项目的改造，把 18 种 93 台（套）中的 12 种 45 台（套），边改边安装边试车边改进，历时三年，形成年生产能力为 1500t 的带箔生产线，满足了 20 世纪 60 年代我国国民经济建设对箔材的迫切需求。

1980 年从西德引进的 1200mm 四辊铝箔轧机投入生产，迈出了我国铝箔生产现代化的第一步。由笔者组织和参与开发的铝材冷轧、铝箔轧制用基础油和添加剂获得国家科技成果奖。1982 年，在当时笔者所在的华北铝加工厂，由日本神户钢铁公司提供的轧制设备、日本昭和铝业公司提供的部分铝箔轧制软件，首次采用了铸轧毛料批量生产宽幅 0.007mm 铝箔，于 1986 年获得国家计委颁发的金质奖，标志着我国进入铝箔现代化行列。

20 世纪 80 年代是我国铝箔现代化快速发展的年代。继华北铝加工厂之后，上海铝材厂、丹阳铝箔厂、厦顺铝箔厂、石家庄铝箔厂、西南铝加工厂、西北铝加工厂、中信渤海铝业有限公司、成都铝箔厂等相继从不同国家引进了各种规格的铝箔轧机，使我国的铝箔生产能力和装机水平都有了较大的发展，其中渤海铝的装机水平与欧美一流铝箔厂的等同，当然在设计方面还存在一些不足之处。厦顺的铝箔生产无论是产品品质还是生产指标均居国内与世界先进行列<sup>[3]</sup>。

20 世纪 80 年代铝箔加工设备的快速发展使我国的铝箔生产能力得到迅猛发展。自 20 世纪 60 年代到 21 世纪初，中国铝箔生产能力稳步增长。

2008 年，我国铝箔的产量已超过美国，居世界首位。我国铝箔生产的各项经济指标和世界先进指标相比，还有相当大的发展空间（唯一的例外是厦顺铝箔有限公司）。

当前铝箔生产的特点是：



(1) 当前新建的铝箔企业均采用高速宽幅大卷轧机，以提高效率与降低成本。

(2) 轧制速度在逐渐提升。从第一代的 20m/min 到目前已达 2000m/min，一百多年来增长一百多倍，现在最高设计速度可达 2500m/min。需指出，由于受铝箔表面光亮度的限制，双合轧制速度一般不宜超过 700m/min。越来越多的铝箔生产厂，实际中轧速度已达到 1500 ~ 2000m/min。精轧速度提高到 800 ~ 1000m/min。

(3) 轧制宽度逐渐加宽。100 多年来轧制宽度增长 5 ~ 6 倍。世界上最宽的铝箔轧机的辊身宽 2300mm，可轧出宽度大于 2000mm 的铝箔。

(4) 卷重从初始的几十千克增大到目前的十几吨。卷重虽然是大些好，但受到单位宽度卷重限制（也是开卷、卷取的卷径比），目前一般不超过 10kg/mm。

(5) 轧制厚度趋向减薄。由于在多数情况下，铝箔使用要求面积，所以越薄利用率越高，经济的最小可轧厚度达 6.0 $\mu\text{m}$ ，某些产品有进一步减薄到 5.5 $\mu\text{m}$  的趋势。但根据欧洲共同体（EEU）的研究，在当前的生产技术条件下，包装铝箔的厚度不应小于 0.006 $\mu\text{m}$ ，否则可透过氧，无法保证包装物质。

(6) 自动化程度越来越高。从原、辅材料到生产成品、半成品的传送、存储、管理，到轧机辅机每一个操作自动化水平不断完善提高。高架仓库的普遍应用，使 4P（Product, Price, Plece, Promotion）MES 应用于铝箔生产实现物流系统的闭环控制正在进一步提高铝箔的生产效率和能力。

(7) 对环保、节能要求越来越严格。轧制油回收利用正在广泛应用。注重从生产开始的每一个环节，提高成品率水平，减少生产消耗。

(8) 表面缺陷在线连续自动检测和记录已经开始应用于铝箔坯料生产的各个阶段，如热轧、铸轧、拉弯矫等工序，从而大大减少了铝箔轧制过程的缺陷。

(9) 控制铝箔坯料的非金属夹杂大小、含量和 Fe、Si 析出物大小，正在成为确保薄铝箔的冶金品质的必要手段。



(10) 生产出高品质的铝箔样品并不困难，困难的是日日、批批保持产品高品质的稳定。严格贯彻和执行 ISO 管理体系和 SPC (Statistical Process Control) 管理势在必行。

铝箔生产已有 100 多年的历史，但系统论述铝箔生产技术的专著却所见甚少，特别是有关近期铝箔高速生产的相关技术系统资料更是少见。我们认为，国内外铝箔生产的工艺流程可谓大同小异，差异在于个别环节工艺参数的不同。而这一差异很少能以专利形式得以保护，所以也很少公开或公布。其次，铝箔生产还有这样一个特点，即或两个工厂的设备完全一样，甲厂行之有效的工艺原封不动的用到乙厂，效果并不相同，就更不用说设备不同的厂家，试图仅靠某一个工艺参数的改变来改善生产效果，几乎是不可能的。本书根据笔者多年从事铝箔生产的经验和为铝箔厂进行咨询的实践以及对国外多家大型现代化铝箔厂考察、实习的总结，系统地阐述了不同条件下的铝箔生产工艺，以及采用现有工艺生产效果却不理想的情况下，如何完善试验方法，掌握技术诀窍并如何使技术诀窍能真正发挥作用则更为重要。希望本书能为从事铝箔生产的工程技术人员提供启迪。企图采用书中的某一参数立刻就会改变生产面貌的想法是不现实的。因为铝箔生产的各个工艺参数是相互关联的，可谓牵一发而动全身，只有通过技术诀窍的认真总结才能提高铝箔生产技术水平。

我国进入现代化铝箔生产行列已 30 多年，各铝箔厂都积累了丰富的经验，希望本书能起到抛砖引玉的作用，让更多的行之有效的技术生产中发挥更大的作用，使我国的铝箔生产走上全面的科学发展道路。

由于作者水平所限，加之时间仓促，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者  
2013 年 4 月

# 目 录

第1章 铝箔及其应用	1
1.1 铝箔品种	1
1.2 铝箔的性质	2
1.2.1 铝的一般性质	2
1.2.2 铝箔的防潮性能	2
1.2.3 铝箔的绝热性能	3
1.2.4 铝箔的光反射率	4
1.2.5 铝箔的电学性能	4
1.2.6 铝箔的力学性能	4
1.2.7 铝箔的化学性能	7
1.2.8 高纯铝的某些性能	8
1.3 铝箔的应用	10
1.3.1 铝箔的应用领域	10
1.3.2 空调器铝箔	11
1.3.3 包装铝箔	13
1.3.4 铝箔在电气行业的应用	14
1.3.5 铝箔在建筑行业的应用	14
1.3.6 铝箔在航空航天器中的应用	15
参考文献	16
第2章 铝箔冶金品质的基础——熔铸	17
2.1 化学成分	17
2.1.1 可借鉴的铝箔化学成分	17
2.1.2 Fe对铝箔性能的影响	18
2.1.3 Mg、Mn对铝箔性能的影响	18
2.1.4 $m(\text{Fe})/m(\text{Si})$ 对铝箔性能的影响	19
2.1.5 化学成分的调节	19
2.2 炉料	20
2.3 铝熔体温度	21
2.4 铝熔体的氢含量	21
2.4.1 除氢装置	21
2.4.2 测氢仪和氢含量	22

2.5 铝熔体中的非金属夹杂	23
2.5.1 铝熔体的过滤	23
2.5.2 非金属夹杂的检测	26
2.5.3 非金属夹杂的控制	28
2.5.4 非金属夹杂缺陷的图像分辨	28
2.6 晶粒细化	32
2.6.1 大晶粒的危害	32
2.6.2 晶粒细化方法	32
2.7 熔炼炉和静止炉	33
2.7.1 炉型的选定	33
2.7.2 熔炼炉和静止炉的容量和配置	34
2.7.3 某些先进技术在熔炼过程中的应用	34
参考文献	35
<b>第3章 铝箔带坯</b>	<b>36</b>
3.1 热带坯	36
3.1.1 典型的热轧机列	36
3.1.2 不同类型热轧机列的产品品质	36
3.1.3 热轧机能力的校核	40
3.1.4 先进热轧技术的应用	41
3.2 铸轧带坯	41
3.2.1 铸轧机的类型	42
3.2.2 辊式铸轧机的结构与产品	44
3.2.3 先进技术在铸轧机上的应用	51
3.3 铝箔带坯的冷轧	51
3.3.1 冷轧机机型的选择	51
3.3.2 VC 辊	53
3.3.3 DSR 辊	54
3.3.4 板形控制范围	56
3.3.5 板形的调节能力	56
3.3.6 板形、辊型和辊缝的数学式	58
3.3.7 复合辊型和高阶不良板形的形成	58
3.3.8 轧辊轴向移动的轧机	60
3.3.9 HC 系列轧机	60
3.3.10 CVC 轧机	61
3.3.11 目标板形	65
3.3.12 几种常见轧机和板形控制能力的比较	65
3.3.13 冷轧轧制系统的编制	67
3.3.14 冷轧机、铝箔轧机轧制力和主电机功率的核算	74

3.3.15 先进技术在冷轧机上的应用 .....	80
参考文献 .....	80
<b>第4章 铝箔的退火 .....</b>	<b>81</b>
4.1 退火过程中的性能变化 .....	81
4.2 退火种类 .....	81
4.3 退火炉的种类 .....	81
4.3.1 按炉体结构形式分 .....	81
4.3.2 按加热方式分 .....	82
4.3.3 按操作方式分 .....	83
4.3.4 按炉内气氛分 .....	83
4.4 箱式炉炉温的控制 .....	84
4.4.1 箱式炉空炉温度的均匀性 .....	84
4.4.2 箱式炉炉料温度的均匀性 .....	84
4.4.3 退火周期的确定 .....	84
4.4.4 箱式炉加热时间的计算式 .....	85
4.4.5 气垫炉炉温精度和厚差 .....	86
4.5 带坯的完全退火 .....	87
4.5.1 软铝合金的退火温度 .....	87
4.5.2 硬铝合金的退火温度 .....	87
4.5.3 完全退火保温时间 .....	88
4.6 带卷的部分退火 .....	88
4.7 特薄铝箔带坯的分阶段热处理 .....	88
4.7.1 1×××合金的相组成 .....	88
4.7.2 均匀化退火 .....	89
4.7.3 Fe和Si的析出 .....	89
4.7.4 析出退火工艺 .....	90
参考文献 .....	91
<b>第5章 铝箔的生产 .....</b>	<b>92</b>
5.1 影响铝箔品质的因素 .....	92
5.2 铝箔生产设备和环境 .....	92
5.2.1 生产设备 .....	92
5.2.2 生产环境 .....	93
5.3 生产管理与技术诀窍 .....	94
5.4 铝箔带坯 .....	94
5.4.1 冶金品质 .....	94
5.4.2 外观 .....	94
5.4.3 性能均匀性 .....	95

5.4.4	厚度偏差	95
5.4.5	合适的板形	95
5.4.6	化学成分	96
5.4.7	组织	96
5.5	轧辊	97
5.5.1	轧辊结构	97
5.5.2	辊型	100
5.5.3	轧辊凸度	104
5.5.4	轧辊尺寸精度	104
5.5.5	辊身硬度	104
5.5.6	辊身表面粗糙度	105
5.5.7	轧辊表面粗糙度和反光性能	105
5.5.8	轧辊使用寿命	106
5.5.9	磨削工艺	108
5.5.10	轧辊磨床的选用	112
5.6	轧制油	112
5.6.1	轧制油的作用及对它的要求	112
5.6.2	基础油	114
5.6.3	添加剂	119
5.6.4	轧制油的过滤	123
5.6.5	平板过滤器	125
5.6.6	过滤介质	127
5.6.7	轧制油的管理	133
5.6.8	油雾回收	134
5.7	轧制率系统	135
5.7.1	压下量	136
5.7.2	轧制力	136
5.7.3	开卷张力和卷取张力	140
5.7.4	轧制速度	143
5.7.5	轧制过程中的温度管理	146
5.7.6	铝箔轧制过程中的单辊驱动	148
	参考文献	148
<b>第6章</b>	<b>铝箔轧制过程中的厚差控制</b>	<b>149</b>
6.1	产生厚差的根源	149
6.2	厚差的控制	149
6.2.1	厚度变化的图解： $P-h$ 图	149
6.2.2	厚差来源	150
6.2.3	轧机刚度可调的控制——“BISRA”AGC	150

6.2.4	无辊缝轧制的 $P-h$ 图	152
6.3	减少厚差影响的因素	152
6.4	来料厚差的影响	152
6.4.1	弹跳方程	152
6.4.2	带坯硬度的影响	153
6.4.3	厚度斜度对厚差减小的影响	153
6.5	常见 AGC 种类与控制功能	154
6.5.1	AGC 种类	154
6.5.2	控制功能	156
6.6	现代化冷轧机 AGC 的控制能力和厚差报告	160
6.6.1	AGC 的控制能力	160
6.6.2	达到以上水平的前提条件	161
6.6.3	厚差报告	161
6.6.4	冷轧机 AGC 调节手段的配备	162
	参考文献	162
<b>第 7 章</b>	<b>铝箔轧制过程中的板形控制</b>	<b>163</b>
7.1	潜在板形和可见板形	164
7.1.1	潜在板形	164
7.1.2	出现可见不良板形的区间	164
7.1.3	板带断面的凸度	164
7.1.4	不良板形的波形表示法	164
7.1.5	不良板形的“ $I$ ”单位表示法	165
7.2	板形的在线检测	166
7.2.1	板形在线检测的原理和类型	166
7.2.2	板形和张力	166
7.2.3	张力的检测	166
7.2.4	检测误差	168
7.3	板形的控制	169
7.3.1	板形的检测和控制	169
7.3.2	数据采集、传输和处理(压电式检测辊)	169
7.3.3	原始误差和测量误差	170
7.3.4	轧辊倾斜控制	170
7.3.5	弯辊控制	172
7.3.6	VC 辊控制	172
7.3.7	轴向窜动	174
7.4	目标板形	174
7.4.1	目标板形不是直线	174
7.4.2	影响辊缝形状的因素	174

7.4.3	目标板形设置的基本原则	175
7.4.4	二肋波浪的冷喷射	176
7.5	目标板形的设定	176
7.5.1	ABB 公司目标板形的设定	177
7.5.2	VAI 公司目标板形的设定	177
7.5.3	FATA 公司目标板形的设定	177
7.6	AFC 系统的显示屏	177
7.6.1	瞬时板形	177
7.6.2	目标板形与板形偏差	178
7.6.3	带全长上的板形	178
7.6.4	不良板形的示例	178
7.7	轧制油喷射	179
7.7.1	轧制油的喷射功能	179
7.7.2	喷射控制	179
7.7.3	喷射梁	179
7.8	轧制油喷射可能带走的热量	180
7.8.1	轧制产生的热量	180
7.8.2	轧制油可能带走的热量	181
7.8.3	轧制油能够带走的热量	182
7.9	轧制油嘴布置对传热系数的影响	182
7.9.1	喷射距离、角度、压力和传热系数的关系	182
7.9.2	相邻喷嘴位置对传热系数的影响	183
7.9.3	喷嘴形式对传热系数的影响	183
7.9.4	喷射梁的布置	183
7.10	在线板形和离线板形	184
7.10.1	在线板形	184
7.10.2	离线板形的测量	187
7.10.3	熨平辊的使用	188
	参考文献	188
<b>第 8 章</b>	<b>铝箔生产的自动化管理</b>	<b>190</b>
8.1	生产管理的自动化	190
8.2	铝箔生产的三级计算机控制	190
8.3	高架仓库	190
8.3.1	高架仓库的兴起	190
8.3.2	高架仓库的功能	190
8.3.3	高架仓库的效益	191
8.3.4	高架仓库的存储效率	191
8.3.5	高架仓库料卷存储方式	192



8.4	4PMES 制造执行系统 .....	192
8.5	制造执行系统的四级模式 .....	192
	参考文献 .....	193
<b>第9章</b>	<b>铝箔轧制过程中的火灾和预防 .....</b>	<b>194</b>
9.1	强烈干摩擦引起的火灾 .....	194
9.2	电气短路引起的火灾 .....	194
9.3	静电引起的火灾 .....	194
9.3.1	影响静电大小的条件 .....	195
9.3.2	静电如何引起火灾 .....	195
9.3.3	火灾的预防和灭火 .....	195
	参考文献 .....	197
<b>第10章</b>	<b>铝箔的双合 .....</b>	<b>198</b>
10.1	铝箔的最小轧制厚度 .....	198
10.2	双合的目的 .....	198
10.2.1	取得必要的厚度 .....	198
10.2.2	中间工序的检查 .....	199
10.3	合卷工序的配置 .....	199
10.3.1	双合和轧制同时进行 .....	199
10.3.2	单独设置的合卷机 .....	199
10.3.3	双合的串料系统 .....	199
10.4	双合油 .....	200
10.5	切边 .....	200
10.5.1	切边量 .....	200
10.5.2	切刀 .....	201
10.6	合卷张力 .....	201
10.7	导辊 .....	201
10.8	亮点——双合工序最常见的缺陷 .....	201
10.8.1	亮点的表象 .....	201
10.8.2	亮点产生的机理和预防 .....	202
<b>第11章</b>	<b>分卷和分切 .....</b>	<b>203</b>
11.1	单纯的分卷 .....	203
11.2	立式分卷的串料系统 .....	203
11.3	立式分卷的品质控制 .....	204
11.3.1	来料品质 .....	204
11.3.2	张力控制 .....	204
11.3.3	压辊的压力控制 .....	204

11.4 卷取密度的控制	205
11.4.1 卷取密度的影响	205
11.4.2 卷取密度的计算	205
11.4.3 卷取密度的分布	205
11.5 断带率	206
11.5.1 断带率	206
11.5.2 断带的连接	206
11.5.3 焊接参数	206
11.5.4 焊接效果	206
11.6 分卷分切	206
11.7 切刀	207
11.7.1 切刀选择	207
11.7.2 切刀重叠量和间隙的调整	209
11.8 多条分切的张力均衡装置	210
11.9 分卷分切过程中不良产品的预防	210
11.10 产品缺陷的在线检查	211
参考文献	211
<b>第12章 成品退火</b>	<b>212</b>
12.1 成品退火的分类	212
12.1.1 部分退火	212
12.1.2 完全退火	212
12.2 成品退火对铝箔成品品质影响的因素	212
12.2.1 箔材轧制终了到开始退火的间隔时间	212
12.2.2 保温时间和料卷宽度	213
12.2.3 温度	213
12.3 注意事项	214
<b>第13章 典型的板带箔生产工艺</b>	<b>215</b>
13.1 典型的带、箔生产工艺流程	215
13.2 典型的铸轧生产工艺	215
13.3 冷轧生产工艺	216
13.3.1 传统的冷轧生产工艺	216
13.3.2 现代化的冷轧生产工艺	217
13.4 双零箔典型轧制生产工艺	217
13.5 PS版板基生产工艺	219
13.5.1 对PS版板基的品质要求	219
13.5.2 PS版板基的热轧和冷轧	220
13.5.3 传统的矫直工艺	220