

现代铝加工生产技术丛书

主编 周江 赵世庆

铝箔生产技术

LÜBO SHENGCHAN JISHU

段瑞芬 赵刚 李建荣 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

铝箔生产技术

段瑞芬 赵 刚 李建荣 编著

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,详细介绍了铝箔生产技术、工艺与设备等。全书共分11章,内容包括:绪论,铝箔的性能,轧制过程的基本原理,铝箔轧制生产技术及工艺优化,铝箔的合卷、分卷与清洗,铝及铝合金退火的一般知识及铝箔的成品退火,高速铝箔轧制的火灾预防及CO₂灭火系统构造原理,铝箔的包装、标志、运输与贮存,铝箔常见质量缺陷,合金成分对铝箔组织和性能的影响,几种典型铝箔的生产工艺流程等。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、教学、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

铝箔生产技术/段瑞芬等编著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 3

(现代铝加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-5154-7

I. ①铝… II. ①段… III. ①铝—金属箔—生产工艺
IV. ①TG146. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第015250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@cnmip.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 978-7-5024-5154-7

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3月第1版, 2010年3月第1次印刷

148mm×210mm; 7.5印张; 219千字; 218页; 1-3000册

28.00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

铝箔由于具有无毒、无味、遮光、隔热、防潮、挺括、美观、密度小和比强度高等优点，被广泛应用于包装、散热器、电器和建筑等领域，成为经济发展和人们日常生活中不可缺少的产品。铝箔生产工艺、技术复杂，材料质量要求高，需要经过熔铸、热轧（铸轧）、冷轧到箔材轧制、分切等加工工艺和热处理过程，是铝加工材生产中工序最长、加工技术难度最大的产品之一，所以铝箔的生产技术已成为当前各国十分关注的铝加工技术。近年来，我国铝加工行业的技术装备在不断进步，铝加工企业规模越来越大，生产成本降低，产品质量和档次提高，铝箔的应用领域不断扩展，我国已成为第二大铝箔消费国。尽管自主创新加上国外先进技术和装备的大量引进，我国的铝箔加工业无论在装机水平、生产能力，还是在产品质量方面都有了大幅度的提高，但仍然存在一些技术创新能力不足的问题。突出的问题有：铝箔生产企业的生产规模、设备的现代化和自动化水平尚存在差距，产品竞争能力不足；铝箔坯料的生产工艺技术与国外有一定差距；铝箔产品结构不理想；铝箔产品质量不稳定；技术经济指标落后。为了满足我国国民经济的高速持续发展和国内外对铝箔产品的高质量要求，作者在结合生产实际的同时，参阅、整理了国内外大量的文献和技术资料，编写了本书献给读者，以期对我国铝箔加工技术的提高有所帮助。

本书详细介绍了铝箔生产技术、工艺与设备等。全书共分11章，内容包括：绪论，铝箔的性能，轧制过程的基本原理，铝箔

轧制生产技术及工艺优化, 铝箔的合卷、分卷与清洗, 铝及铝合金退火的一般知识及铝箔的成品退火, 高速铝箔轧制的火灾预防及 CO₂ 灭火系统构造原理, 铝箔的包装、标志、运输与贮存, 铝箔常见质量缺陷, 合金成分对铝箔组织和性能的影响, 几种典型铝箔的生产工艺流程等。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、教学、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 1~4、9、11 章由段瑞芬编写, 第 5~8、10 章由赵刚、李建荣编写, 最后由谢水生教授、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关心和帮助, 并参阅了国内外有关专家、学者的一些文献资料和一些企业的生产实例、图表和数据等, 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, 敬请广大读者批评指正。

作 者
2010 年 1 月

目 录

1 绪论	1
1.1 铝箔的分类	1
1.1.1 铝箔的定义	1
1.1.2 铝箔的厚度分类	1
1.1.3 铝箔的形状分类	1
1.1.4 铝箔的状态分类	2
1.1.5 铝箔的表面状态分类	2
1.1.6 铝箔的加工状态	3
1.2 铝箔的用途	3
1.2.1 烟用铝箔	4
1.2.2 电解电容器用铝箔	5
1.2.3 装饰用铝箔	5
1.2.4 药用铝箔	6
1.2.5 电缆用铝箔	6
1.2.6 空调用铝箔	7
1.2.7 软包装用铝箔	7
1.2.8 啤酒封用铝箔	8
1.2.9 汽车热交换器用复合钎焊铝箔	8
1.2.10 其他铝箔	9
1.3 我国铝箔生产的发展历史和现状	10
1.3.1 我国铝箔工业发展的四个阶段	10
1.3.2 我国铝箔轧机的装机水平	11
1.3.3 铝箔产品质量	12
1.4 铝箔的产量、进出口量与消费量	13
1.4.1 铝箔产量与消费量	13
1.4.2 2010 年铝箔的需求预测	14

1.5 当代铝箔生产的特点和发展趋势	15
2 铝箔的性能	20
2.1 铝箔具有银白色光泽、薄且轻的性能	20
2.2 铝箔的防潮性能	20
2.3 铝箔的绝热性能	21
2.4 铝箔对光的反射性能	21
2.5 铝箔的热学性能	22
2.6 铝箔的电学性能	24
2.7 铝箔的力学性能	25
2.8 铝箔的质量要求	33
2.8.1 铝箔的针孔限制	33
2.8.2 铝箔的尺寸要求	34
3 轧制过程的基本原理	35
3.1 简单轧制过程及变形参数	35
3.1.1 简单轧制过程	35
3.1.2 常用的变形指数	36
3.1.3 变形指数的表示方法	36
3.2 轧制变形区的主要参数	37
3.2.1 咬入角 α	37
3.2.2 接触弧长度 (L)	38
3.3 实现轧制过程中的条件	39
3.3.1 咬入条件	39
3.3.2 咬入瞬间的咬入条件	39
3.3.3 稳定轧制时的咬入条件	41
3.3.4 影响轧件咬入的因素	42
3.3.5 改善咬入的措施	43
3.4 轧制过程的变形、运动学、力学条件	45
3.4.1 轧制过程的变形	45
3.4.2 运动学	46

3.4.3	力学条件	48
3.5	轧制时金属的变形	49
3.5.1	轧制过程中的横变形——宽展	49
3.5.2	轧制过程的纵向变形——前滑和后滑	53
3.5.3	轧制时的外摩擦	61
3.5.4	轧制时的变形抗力	62
3.6	轧制压力的计算	64
3.6.1	咬入弧上单位压力的分布	64
3.6.2	轧制力和平均单位压力的概念	67
4	铝箔轧制生产技术及工艺优化	70
4.1	铝箔的生产方法	70
4.1.1	叠轧法	70
4.1.2	带式轧制法	70
4.1.3	沉积法	70
4.2	铝箔轧制的特点	71
4.2.1	无辊缝轧制	71
4.2.2	预加压力	74
4.2.3	叠轧（双合轧制）	76
4.2.4	速度效应	76
4.3	铝箔生产的工艺流程	77
4.4	铝箔坯料	78
4.4.1	铝箔坯料的技术要求	78
4.4.2	铝箔坯料的类型	79
4.4.3	两种坯料的比较	80
4.4.4	两种铝箔坯料生产铝箔的比较	81
4.4.5	铝箔坯料的组织控制	83
4.4.6	铝箔坯料的质量评价体系	85
4.5	铝箔轧辊及辊型控制	89
4.5.1	铝箔生产对轧辊的要求	89
4.5.2	轧辊辊型设计	91

4.5.3	轧辊的辊型控制	93
4.5.4	轧辊的磨削	95
4.6	铝箔轧制工艺润滑油及管理	100
4.6.1	铝箔轧制油的作用	100
4.6.2	轧制油的理化性能	101
4.6.3	对箔材轧制油的特殊要求	104
4.6.4	基础油的选择	105
4.6.5	双合油	108
4.6.6	添加剂的选择	108
4.6.7	轧制油的不同配制与对应的典型理化指标	111
4.6.8	轧制油的过滤	113
4.6.9	轧制油的日常管理	119
4.6.10	铝箔轧制油的油雾回收与再生技术	120
4.7	铝箔轧制的厚差控制	128
4.7.1	铝箔轧制对坯料厚差的要求	128
4.7.2	纵向厚差控制方法	129
4.7.3	板形与横向厚差控制	131
4.8	影响铝箔轧制质量的因素	133
4.9	轧制工艺参数的优化	134
4.9.1	铝箔坯料厚度、宽度、状态的选择	134
4.9.2	铝箔加工率的选择	135
4.9.3	铝箔轧制力的计算	137
4.9.4	铝箔轧制速度的选择	138
4.9.5	轧制后张力的选择	141
4.9.6	前张力的选择	142
4.9.7	铝箔轧制时的厚度测量	142
4.9.8	铝箔轧制时的厚度控制	142
4.9.9	铝箔轧制操作的注意事项	145
5	铝箔的合卷、分卷与清洗	147
5.1	铝箔的合卷	147

5.1.1	铝箔合卷的方式	147
5.1.2	铝箔合卷的目的	147
5.1.3	铝箔合卷质量要求	148
5.2	铝箔的分卷	148
5.2.1	铝箔分切的目的	148
5.2.2	铝箔分切的方式	149
5.2.3	分切条数的确定	152
5.2.4	铝箔分切的质量控制	152
5.3	铝箔的清洗	155
6	铝及铝合金退火的一般知识及铝箔的成品退火	156
6.1	铝及铝合金热处理的一般知识	156
6.1.1	概述	156
6.1.2	退火的基本原理	156
6.2	变形铝及铝合金板带材退火	164
6.2.1	坯料退火	164
6.2.2	中间退火	164
6.2.3	成品退火	165
6.3	变形铝及铝合金箔材退火	166
6.3.1	铝箔坯料退火	166
6.3.2	坯料中间退火工艺的选择	167
6.3.3	铝箔成品退火	172
6.3.4	铝箔成品退火工艺参数的优化	175
6.3.5	铝箔退火的方式	178
6.3.6	消除退火铝箔表面污染的方法	178
7	高速铝箔轧制的火灾预防及 CO ₂ 灭火系统构造原理	180
7.1	火灾原因分析	180
7.2	火源主要与下列因素有关	180
7.3	火灾的预防措施	181
7.4	CO ₂ 灭火系统构造原理概述	182

7.5 灭火系统的操作使用	183
8 铝箔的包装、标志、运输与贮存	185
8.1 铝箔的包装	185
8.1.1 箱式包装	185
8.1.2 井字架包装	185
8.2 包装标志	186
8.3 铝箔的运输	186
8.4 铝箔的贮存	187
8.5 铝箔卷的防腐措施	187
9 铝箔常见质量缺陷	188
9.1 概述	188
9.2 箔材主要质量缺陷	188
9.2.1 针孔	188
9.2.2 辊印、辊眼	189
9.2.3 起皱、皱纹	189
9.2.4 亮点	190
9.2.5 厚差	190
9.2.6 油污	190
9.2.7 油斑	191
9.2.8 除油不净	191
9.2.9 振痕	191
9.2.10 张力线	191
9.2.11 开缝	192
9.2.12 气道	192
9.2.13 暗纹、亮线	192
9.2.14 金属和非金属压入	193
9.2.15 划伤、擦伤、碰伤	193
9.2.16 横波(起棱)、横纹	193
9.2.17 粘连、粘油	194

9.2.18	板形不良	194
9.2.19	起鼓	195
9.2.20	压折	195
9.2.21	人字纹	195
9.2.22	毛刺	195
9.2.23	卷取缺陷 (松卷、串层、塔形、翘边)	195
9.2.24	表面气泡	196
9.2.25	腐蚀	196
9.2.26	白条	196
9.2.27	其他缺陷	197
10	合金成分对铝箔组织和性能的影响	198
10.1	概述	198
10.2	合金成分对 $1 \times \times \times$ 合金铝箔组织和性能的影响	198
10.3	化学成分对包装印刷用铝箔和深冲用铝箔力学性能的影响	200
11	几种典型铝箔的生产工艺流程	204
11.1	概述	204
11.2	双零铝箔	204
11.2.1	定义	204
11.2.2	双零铝箔生产的典型工艺流程	205
11.2.3	双零铝箔的主要合金	205
11.2.4	双零铝箔的质量要求	205
11.3	单零铝箔	206
11.3.1	单零铝箔的定义	206
11.3.2	单零铝箔的主要合金与品种	207
11.3.3	单零铝箔的力学性能	208
11.3.4	啤酒标铝箔的生产工艺	209
11.4	无零铝箔	212
11.4.1	无零铝箔的定义	212

11.4.2	无零铝箔的主要合金与品种·····	212
11.4.3	无零铝箔力学性能·····	213
11.4.4	空调器用铝箔的生产工艺·····	213
参考文献 ·····		218

1 绪 论

1.1 铝箔的分类

铝箔的分类有多种方法，按铝箔的厚度、形状、状态或材质等都可以进行分类。

1.1.1 铝箔的定义

不同的国家对铝箔厚度的定义各不相同，我国根据 GB/T 8005.1—2008《铝及铝合金术语 第1部分：产品及加工处理工艺》中规定：箔材（foil），横断面呈矩形，厚度均一并等于或小于 0.20mm，且成卷交货的轧制产品。不同国家对铝箔厚度的规定见表 1-1。

表 1-1 各国对铝箔厚度的规定

国 家	中国	美国	俄罗斯	英国	法国	德国	意大利	瑞典	日本
最大厚度/mm	0.2	0.15	0.2	0.15	0.2	0.02	0.05	0.04	0.15

1.1.2 铝箔的厚度分类

根据 GB/T 8005.1—2008《铝及铝合金术语 第1部分：产品及加工处理工艺》中规定：铝箔按厚度差异分为：（1）无零箔（nothing zero foil），厚度为 0.10~0.20mm 的铝箔；（2）单零箔（one-zero foil），厚度不小于 0.01mm 且小于 0.10mm 的铝箔；（3）双零箔（two-zero foil），厚度不小于 0.001mm 且小于 0.01mm 的铝箔。

国外有时把厚度不大于 40 μm 的铝箔称为“light gauge foil”，而把厚度大于 40 μm 的铝箔统称为“heavy gauge foil”。

1.1.3 铝箔的形状分类

铝箔按形状可分为卷状铝箔和片状铝箔。铝箔深加工毛料大多数