

民用铝板、带、箔材生产

郑璇 编著



冶金工业出版社

民用铝板、带、箔材生产

郑 璇 编著

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 提 要

本书根据我国现有中小型铝加工企业的实际情况,介绍了民用铝板、带、箔材的生产工艺,加工原理,产品规格、性能及用途,并对中小型铝加工企业普遍存在的技术和生产问题进行了分析,提出了改进措施。此外,本书还简要介绍了铝板、带、箔材的现代化生产工艺及设备,指出了我国中小型铝加工企业的发展趋势与改造途径。

民用铝板、带、箔材生产

郑 颀 编著

冶金工业出版社出版发行

(北京北海沿大街益寿院北数39号)

新华书店总店科技发行所经销

河北省三河市印刷厂印刷

850×1168 1/32印张11字数287千字

1992年12月第一版1992年12月第一次印刷

印数 1—3000 册

ISBN 7-5024-1018-X

TG·143 定价10.40元

前 言

80年代以来,我国民用铝板、带、箔材生产企业逐年增多,其中有从国外引进先进设备扩建和新建的大型铝加工厂,也有部分或全部采用国内设计制造的设备对老设备更新改造的中小型铝加工厂。当前,关于铝加工技术方面的书籍较少,并且偏重于介绍铝合金产品的生产工艺和设备,内容也局限于合金组织与性能的研究、现有技术资料的汇编和个别生产工序的探讨。本书的目的是向在各类技术装备的民用铝板、带、箔材生产企业中工作的技术人员介绍基础理论和数据计算,以及生产实践和操作经验;以介绍中小型厂的设备和生产工艺为主,也介绍先进设备和生产工艺;还兼顾技术工人和一般技术干部阅读的需要。本书内容包括从铝料熔化到成品出厂的全部生产过程。对于中专和大专院校压力加工专业的学生也有一定的参考价值。

由于作者水平有限,手头资料不全,谬误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

目 录

1 概述	1
1.1 铝工业的概况	1
1.1.1 铝的特性	1
1.1.2 铝的资源	2
1.1.3 铝的生产历史	3
1.1.4 铝的生产规模和用途	4
1.2 我国民用铝板、带、箔材的生产历史和现状	6
1.3 中小型铝加工企业在我国民用铝板、带、箔材生产中的地位和发展前景	7
2 民用铝板、带、箔材的品种,性能和生产工艺	10
2.1 民用铝板、带、箔材的牌号,化学成分,状态和性能	10
2.1.1 牌号和化学成分	10
2.1.2 材料的状态和机械性能	16
2.1.3 Al-Fe-Si, Al-Mn, Al-Mg相图和铝中杂质及合金元素对材料性能的影响	20
2.2 铝板、带、箔材生产工艺流程	22
2.2.1 板、带材生产工艺流程	22
2.2.2 箔材生产工艺流程	24
2.3 铝板、带、箔材加工的基本原理	26
2.3.1 铝料熔化	26
2.3.2 铝液净化	29
2.3.3 铸造	31
2.3.4 塑性变形	34
2.3.5 再结晶	41
2.3.6 热轧	47
2.3.7 板、带材冷轧	56

2.3.8 箔材轧制	70
2.4 熔化工艺	83
2.4.1 配料	83
2.4.2 加料次序和方法	84
2.4.3 炉温控制	85
2.4.4 净化处理	88
2.5 铸造工艺	93
2.5.1 铁模铸造	93
2.5.2 半连续铸造	94
2.5.3 连续铸造	97
2.6 热轧工艺	102
2.7 冷轧工艺	105
2.7.1 板片轧制	105
2.7.2 卷带轧制	109
2.8 铝板、带材退火工艺	114
2.8.1 完全退火	114
2.8.2 部分退火	117
2.9 铝箔轧制工艺	119
2.10 铝箔退火工艺	131
2.10.1 中间退火	131
2.10.2 成品退火	132
2.11 铝板、带材精整和深加工工艺	134
2.11.1 板、带材精整	134
2.11.2 板、带材深加工	137
2.12 铝箔精整和深加工工艺	141
2.12.1 铝箔精整	141
2.12.2 铝箔深加工	142
3 民用铝板、带、箔材生产设备	148
3.1 熔炼设备	148
3.2 铸造设备	153
3.2.1 铁模铸造设备	153
3.2.2 半连续铸造设备	159

3.2.3	连续铸轧设备	164
3.3	热轧设备	168
3.4	铝板、带材冷轧设备	174
3.4.1	中小型板、带材冷轧机	174
3.4.2	大型卷带冷轧机	180
3.5	铝箔轧制设备	185
3.5.1	中小型铝箔轧机和辅助设备	185
3.5.2	大型铝箔轧机和辅助设备	190
3.6	热处理设备	202
3.6.1	中型退火炉	202
3.6.2	大型退火炉	204
3.7	铝板、带材精整设备	207
3.7.1	剪板机	207
3.7.2	矫直机	208
3.7.3	横剪机	211
3.7.4	纵剪机	213
3.7.5	圆片切割机	215
3.8	铝箔精整和深加工设备	219
3.8.1	裁切机	219
3.8.2	裱合机	220
3.8.3	染色机	221
3.8.4	套印机	224
4	中小型铝板、带、箔材厂的生产技术问题和技術改造途径	226
4.1	生产技術問題	226
4.1.1	熔铸方面的问题	226
4.1.2	热轧方面的问题	227
4.1.3	板、带材冷轧方面的问题	228
4.1.4	铝箔轧制方面的问题	230
4.1.5	退火方面的问题	232
4.1.6	成材率方面的问题	233
4.1.7	劳动强度方面的问题	234

4.1.8 车间环境和安全生产方面的问题.....	235
4.1.9 技术力量方面的问题.....	236
4.1.10 管理制度方面的问题	236
4.2 技术改造途径	237
4.2.1 严格控制化学成分.....	237
4.2.2 净化铝液.....	240
4.2.3 改革铸造工艺.....	244
4.2.4 采用可逆式热轧机.....	248
4.2.5 采用四辊轧机.....	250
4.2.6 轧机用直流电动机驱动.....	252
4.2.7 轧辊喷油润滑和冷却.....	252
4.2.8 改进压下装置和张力调节系统.....	253
4.2.9 节约原辅材料和能源消耗.....	254
4.2.10 加强企业管理	257
5 民用铝板、带、箔材的先进生产技术	259
5.1 计算机应用技术	259
5.2 熔炉节能技术	261
5.2.1 燃料完全燃烧.....	261
5.2.2 加快熔化速度.....	263
5.2.3 缩短加料时间.....	264
5.2.4 废气余热回收.....	264
5.3 铝液净化和晶粒细化技术	266
5.3.1 铝液净化.....	267
5.3.2 晶粒细化.....	273
5.4 热顶铸造和电磁铸造技术	277
5.4.1 热顶铸造.....	277
5.4.2 电磁铸造.....	279
5.5 连轧技术	281
5.5.1 热连轧.....	283
5.5.2 连铸连轧.....	285
5.5.3 冷连轧.....	289
5.6 轧机通用技术	290

5.7 高速优质轧制技术	285
5.7.1 自动厚度控制	286
5.7.2 自动板形控制	301
5.7.3 最佳化控制	312
5.7.4 轧机模型调节和支承辊偏心校正	316
5.7.5 轧辊凸度控制	319
5.8 自动灭火和油烟回收技术	325
5.8.1 自动灭火系统	325
5.8.2 油烟回收装置	329
5.9 退火技术	332
5.9.1 保护气氛和真空退火	323
5.9.2 炉温转换和炉温比例控制	336
5.9.3 卷带连续退火	337
5.10 轧机高位安装和立体仓库自动存取	340
5.10.1 轧机高位安装	340
5.10.2 立体仓库自动存取	340

1 概 述

1.1 铝工业概况

铝工业是19世纪末开始发展起来的。铝工业的兴起对人类科学技术的进步和物质文明的建设作出了巨大贡献。铝材的应用已经广泛深入到运输、建筑、电气、包装、日用五金、机械、仪表、化工、医药、食品、造币、航天、原子能、计算机等各个工业领域，成为人们日常生活所必需的材料。铝是当前有色金属中消费量最大的一种金属，而铝板、带、箔材的产量约占原生铝总产量的一半。

1.1.1 铝的特性

铝的优良特性和丰富资源是它在生产和应用上得到迅速发展的根本原因。铝的优良特性主要有以下几个方面。

(1) 密度小。纯铝的密度为 2700kg/m^3 ，仅为钢铁密度的三分之一，Al-Mg、Al-Li合金的密度更低。

(2) 抗腐蚀。纯铝表面覆有一层致密坚韧的无色透明氧化膜，能抵抗风雨、食品、天然气、浓硝酸等的侵蚀。铝材经过化学或阳极氧化处理后，可以增加表面氧化膜的厚度，使抗腐蚀性得到进一步提高，并可利用阳极氧化膜的多孔结构，吸附染料和重金属离子，染成各种悦目耐晒的颜色。

(3) 足够的强度。铝具有足够的强度可用于制造各种容器和构件，通过合金化和热处理可使铝的强度达到或超过低碳结构钢的强度。铝及铝合金的低温机械性能高于室温机械性能，而无发脆现象。

(4) 反射率高。工业纯铝对红外线和可见光的反射率在80%以上，含铝量超过99.9%的高纯铝和以高纯铝为基体的Al-Mg合金的反射率更高，并由于其抗腐蚀性好，能长期保持原

有的光泽。

(5) 电导性和热导性好。纯铝的电导率相当于铜的62%，热导率相当于铜的60%，而密度只相当于铜的30%。

(6) 延展性好。纯铝和变形铝合金可以进行轧制、挤压、拉拔、锻造、深冲等压力加工，制成各种形状和极细极薄的产品。有些铝合金还具有超塑性。

(7) 耐冲击。铝和铝合金的弹性模量 E 等于 $7.2 \times 10^4 \text{MPa}$ ，相当于钢的弹性模量的三分之一，高强度铝合金的屈服强度却比低碳结构钢的屈服强度高。因此，铝制构件在冲击负荷作用下，弹性变能量虽然比截面相同的钢制构件大，却不易发生断裂或永久性变形。

(8) 回收利用率高。废旧铝料可以直接投炉使用，回收废铝与冶炼原生铝相比，可节约能源95%。

铝的主要缺点是：

(1) 不耐高温，一般只能在 200°C 以下使用；

(2) 焊接比较困难，需要用氩气保护；

(3) 高强度铝合金的热处理工艺复杂，抗腐蚀性差，对应力腐蚀特别敏感；

(4) 硬度低，表面容易擦伤，在产品加工和运输过程中必须谨慎搬运，妥善包装；

(5) 铝的生产需要消耗大量能源，每吨铝电解时需用电量约 $15000 \text{kW} \cdot \text{h}$ ($5.4 \times 10^{10} \text{J}$)。

1.1.2 铝的资源

铝在地壳中的含量为8%，多于其它常用金属的含量，如铁为5%；镁为2%；铜为0.01%；锌为0.004%；锡为0.004%等。由于铝的化学亲合力强，在自然界不可能以金属状态存在，一般是以氧化铝、硅酸铝、硫酸铝等化合物和它们的复合盐或水合物等状态存在。当前用于生产铝的主要矿石是 Al_2O_3 含量为40~60%、 SiO_2 含量低于8%的铝土矿，又称铝矾土。最普遍采用的生产方法是用烧碱浸出法（或称拜耳法）从铝矾土中提取纯氧化

铝，然后以冰晶石为电解质，用电解法（称为霍尔-艾鲁法）从氧化铝中冶炼金属铝。生产1吨电解铝约需2吨氧化铝，而生产2吨氧化铝约需4吨铝矾土。

在拜耳法中，铝矾土所含氧化铝与烧碱生成铝酸钠进入溶液，氧化铁及其它杂质沉淀成为“赤泥”。氧化硅能与铝酸钠生成铝硅酸钠从溶液中析出，使氧化铝的萃取率降低。因此，对于氧化硅含量较高的铝土矿应先用石灰烧结法将氧化硅转化为不能与铝酸钠起化学作用的硅酸钙，然后再用拜耳法提取氧化铝。我国铝土矿的氧化硅含量较高，一般都需要采用这种两步法生产氧化铝。

全世界可供开采的铝土矿储量超过233亿吨，按当前原生铝产量，足够供应250年。我国已探明的铝土矿储量在13亿吨以上，占世界第五位。

除铝土矿以外，其它含铝量较低的矿石，如明矾石、霞石等，也可用于提炼金属铝。

1.1.3 铝的生产历史

铝的存在是英国H. 戴维于1807年首先发现的，但未能将它分离出来。1809年他在电弧炉中炼出了一种铝铁合金。在以后的77年中，丹麦的H. 奥斯戴德，德国的F. 沃勒和法国的H. S. 德维尔，分别用钾汞齐、金属钾、金属钠与氯化铝混合加热获得了金属铝，当时称它为“粘土中的银子”，价格十分昂贵。拿破仑三世曾用它制成胸铠和头盔，并为他的儿子做了一只拨浪鼓。直到1886年，美国的C. M. 霍尔和法国的P. 艾鲁在互不通气的情况下，几乎在同一时间发明了电解炼铝法，才使铝的工业生产和广泛应用有了可能。电解炼铝法获得成功的关键在于找到了一种能溶解氧化铝的、高温化学性能稳定的电解质，即氟铝酸钠，又称冰晶石。这种物质在北美洲格陵兰岛有丰富的资源，但现在电解铝厂多数采用人工合成的冰晶石。

一种新材料的推广应用必须依靠新产品的开发，不断提高材料的性能和扩大材料的应用范围。德国A. 维尔姆于1906年发明

了硬铝合金 (Al-Cu-Mg合金), 又称杜拉铝, 使铝的强度提高两倍, 在第一次世界大战期间被大量应用于飞机制造。由于这类合金的抗腐蚀性差, 所以采用包铝的方法, 即在热轧时在合金铸锭的上、下表面各覆一层纯铝板作为防腐层。后来又陆续开发了 Al-Mn、Al-Mg、Al-Mg-Si、Al-Cu-Mg、Al-Zn-Mg-Cu等不同成分和热处理状态的铝合金。现在铝合金品种已达170余种, 热处理状态有25种。在第二次世界大战期间, 铝工业在军事工业的刺激下高速增长, 1943年原生铝总产量猛增到290万吨。战后, 由于军工需要的锐减, 1945年总产量下降到100万吨以下。此后各大铝业公司积极开发民用新产品, 把铝材的应用逐步推广到建筑、电气、日用五金、食品包装等各个领域, 使铝的需要量逐年增加, 80年代初, 世界原生铝产量已超过1500万吨。

在电解槽中冶炼的金属铝中, 含有氧化铝所带入的铁、硅、钛等杂质元素, 在电解过程中又被电极和电解质中的铜、钠等元素污染。因此, 电解铝的纯度一般在99.4~99.85%之间, 所含杂质主要是铁、硅和铜。杂质元素损害了铝材表面氧化膜的致密性、抗腐蚀性和耐电压击穿的能力。所以在制造反射镜、装饰件、电解电容器等产品时, 要求使用含铝量超过99.93%的高纯铝或以高纯铝为基体的铝镁合金。高纯铝是用原生铝经过二次电解获得的。二次电解法又称三层电解法, 底层(阳极)为Al-33%Cu合金熔体, 中层(电解质)为60%BaCl₂+40%AlF₃·1.5NaF熔盐, 上层(阴极)为高纯铝熔体。经过二次电解所得的铝的纯度可达99.93~99.998%。如再采用区域精炼法还可使纯度进一步提高到99.999~99.9999%。全世界高纯铝的产量约占原生铝总产量的千分之二。

1.1.4 铝的生产规模和用途

自从电解炼铝法问世以来, 铝的生产量和消费量大约以平均每10年增长一倍的规模发展。美国铝业公司 (ALCOA)、加拿大铝业公司 (ALCAN)、雷诺金属公司 (REYNOLDS)、凯撒铝及化学公司 (KAISER)、普基工业公司 (PECHINEY)、瑞士铝

业公司 (ALUSUISSE) 等六大跨国铝业公司的生产能力约占世界原生铝总生产能力的40%。

由于电解铝需要消耗大量电力,而水力发电是最廉价的电力资源。许多炼铝厂都建在水力资源丰富的地方。目前发达国家的水力资源已经剩下不多,炼铝厂正逐渐转移到既有大量水力资源,又有丰富的铝土矿储藏的澳大利亚和非洲等地区,中国也具有类似的有利条件。目前我国人均铝消费量仅约1kg/人·年,而发达国家的人均铝消费量为20~30kg/人·年,所以,中国在发展铝工业方面具有巨大的潜力和广阔的前景。

铝的广泛用途是由其优良特性所决定的。

(1) 由于铝的密度小,并且通过合金化和热处理可以达到结构钢的强度,因此铝已成为航空、航天工业不可缺少的主要材料,制造飞机所用的铝约占飞机总重量的85%。汽车的车身、轮轴、发动机部件,火车的车厢、座椅,船舶的舱板、隔墙、家具等改用铝材以后,可以减轻其本身重量,降低燃料消耗,提高行驶速度。为了减少电力消耗,铝也是制造风扇叶片的常用材料。房屋建筑中的门、窗、幕墙、内壁、屋面、遮阳板、通风设备等采用铝材以后,可减轻基础承载负荷,美化建筑外观,减少维护费用。

(2) 由于铝的抗腐蚀性好,铝制器皿及构件在空气中能长期保持金属光泽,表面结聚的灰污用去污粉轻擦即可清除,不需要涂油漆。铝制容器在恶劣条件下所生成的氧化物无毒性,也不使所盛物品变色。因此,铝被广泛应用于制造厨房用具,牛奶瓶盖,巧克力包装,洗衣机,办公用具,家具,玻璃钢氧气瓶内胆,保温瓶壳体,肩罩,瓶盖,手柄,水桶,脸盆,仪器仪表外壳,钟表面,徽章表牌,通风管道,化工容器,喷雾器,打火机,化妆品盒,牙膏管,饮料罐,打火机,航空餐具,药品包装,印刷器材,农田灌溉管道等。

(3) 由于铝对热辐射和光线的反射率高,用铝材作为屋面和墙板的房屋有利于保持室内温度。倘采用铝板与泡沫塑料的复

合材料可进一步提高墙板的绝热性能。铝板是制作聚光镜，电筒和电炉反射罩的理想材料。消防队员和炼钢工人穿着铝箔与布复合的防火衣可有效地阻挡热辐射。铝箔不透水、不透气、不透光的特性使它成为包装卷烟、食品和胶卷的理想材料。

(1) 由于铝的电导率高，铝也被广泛应用于制造电缆，电线，变压器绕组，导电排，电容器等。

(5) 由于铝的导热性好，铝适用于制造烹饪用具，食品蒸煮袋，空调器散热片，电冰箱用管板蒸发器，不锈钢锅复底等。

(6) 由于铝的屈服强度高，耐冲击，铝可用于制造跳水板、跳高撑杆、球拍框架、三角架、自行车车身、汽车保险杠、桥梁构件、消防车云梯、升降台支架等。

1.2 我国民用铝板、带、箔材的生产历史和现状

1932年瑞士商在上海创建华铝钢精厂，主要生产包装卷烟用的衬纸铝箔，以及少量铝板、铝卷带和铝圆片。铸锭采用铁模铸造，每块平均重量约60kg。轧机全部是交流电动机驱动的二辊不可逆式轧机，所生产的带、箔材最大宽度500mm，板材最大宽度1220mm。

除华铝钢精厂外，民族工商业者也创办了几家铝制品厂，生产铝锅、铝壶等日用器皿，其中有华昌钢精厂、益泰钢精厂、艺光钢精厂、海通钢精厂等。它们之中，有些厂装备有熔炉、铁模、热轧机、冷轧机、圆片切割机等板坯生产设备，有些厂却只有冲床、旋床、洗白、抛光、阳极氧化等铝制品加工设备，所用板坯由其它厂供应。板片生产工艺采用水冷铁模铸锭，每块重15~20kg，厚约20mm。铸锭热轧后先经过一次冷粗轧，称为“冷通”，然后分切成小块，在二辊不可逆式轧机上以板片形式人工操作。解放以前，全国只有上海华铝钢精厂能以卷带形式轧制铝带材。由于该厂卷带冷轧机的宽度只有800mm，凡宽度超过600mm的产品也只能以板片形式进行轧制。

全国解放以后，从苏联引进了50年代初期水平的成套设备和

技术，在东北地区建造一家大型轻合金加工厂，生产铝合金板材、带材、型材、锻件等产品，主要用于军事工业。板、带材生产工艺采用直接水冷半连续铸造，铸锭厚275mm，锯切以后每块重1~2t，然后进行铣面、加热、热轧、冷轧、矫直、剪切。轧机都是四辊可逆式，热轧机宽度2000mm，冷轧机宽度1700mm。此后又在西南和西北地区建造了大型铝加工厂，生产板材、管、棒、型材和铝合金锻件，采用国内自行设计制造的四辊可逆式热轧机和冷轧机，轧机宽度2800mm，仍以供应军工产品为主。60年代曾在东北地区建造一个铝箔车间，采用小型二辊铝箔轧机生产电容器铝箔，又从原民主德国引进宽度为800mm的四辊铝箔粗轧机、二辊铝箔精轧机和铝箔精整及深加工设备，但因缺乏坯料卷带，长期未能正常投产。

到70年代末，原来专业生产军工产品的大型铝加工厂开始生产民用产品。随着国民经济的发展和开放政策的实施，国内原有技术装备所生产的产品品种、质量和产量已经不能满足市场需要。因此，从80年代初开始，陆续从国外引进900mm、1400mm、1600mm、1830mm、1850mm四辊卷带冷轧机和1200mm、1350mm、1600mm、1780mm四辊铝箔轧机，还自行设计制造了垂直式和倾斜式连续铸轧机。此外，还引进倾斜式和水平式连续铸轧机与大型冷轧机和铝箔轧机配套。有些铝加工厂则利用国产设备对原有生产设备进行更新改造，改革生产工艺，增加单位卷重。各地区为了满足当地民用需求，还创办了为数众多的小型铝加工企业，使我国铝材生产能力得到迅速发展。

1.2 中小型铝加工企业在我国民用铝板、带、箔材生产中的地位和发展前景

中小型铝加工企业在我国民用铝板、带、箔材生产中占有重要地位，其产量占全国总产量的 $\frac{1}{3}$ 以上。但隶属系统分散。中小型铝加工厂的工艺装备多数属于30~40年代的技术水平，铸锭

重量在 100kg 以下，轧机为二辊不可逆式，热轧机宽度 ≤ 1300 mm，板片冷轧机宽度 ≤ 1500 mm，卷带冷轧机和铝箔轧机宽度 ≤ 800 mm，轧制速度 < 2 m/s。80 年代初，曾有一家中型铝加工厂建成一条 50 年代水平的中型卷带生产线，采用重 1 t 以下的半连续铸锭，加热以后在 1500 mm 二辊可逆式热轧机和 1400 mm 四辊可逆式卷带冷轧机上轧制，产品最小厚度为 0.41 mm。所生产的大型铝卷带可以在纵剪机上分切成小型铝卷带，或在横剪机上剪切成铝板。

采用铁模铸锭和板片轧机的小型铝加工企业，由于投资少，上马快，占地面积小，生产工艺简单，并能基本满足日用铝器皿所要求的板坯规格和质量，全国许多城市都建立了这类小型铝材厂。虽然这些厂普遍存在着生产场地小、劳动强度高、产品质量差、成材率低等问题，但由于厚度小的铝板在国内市场供不应求，生产任务一直比较饱满。

鉴于以卷带方式生产铝带、铝箔存在要求采用尺寸与重量较大的铸锭和功率较大的热轧机以提供具有一定长度而能进行成卷轧制的热轧板条；卷带轧机与板片轧机相比，结构较为复杂；铝箔生产的工序较多，操作技术要求高等原因，所以用卷带方式生产铝带、铝箔的中小型铝材厂目前在全国还为数不多。

大型铝加工厂的产品转向民用市场以后，在生产场地、工艺、装备、改造资金、技术力量等方面都具有明显优势，并且它们在以往的军工生产过程中已经积累了丰富的技术经验，建立了严格的管理体制。因此产品质量和规格品种方面，中小型铝材厂难以与这些大型厂抗衡。但大型铝加工厂也有一些不利的方面，如生产成本较高，社会负担较重等。此外，我国现有大型铝加工企业在生产设备、工艺技术、原材料和能源消耗、产品质量、经济效益、管理制度等方面，与国外先进水平相比，还存在着不同程度的差距。

建设大型铝加工厂需要巨额资金。我国重型机械和电气控制的设计、制造和配套能力在近期内还不能满足铝加工企业对于现代