



錫

合金及其
加工手冊

王祝堂 田荣璋 主编
中南工业大学出版社

铝

合金及其

加工手册

王祝堂 田荣璋 主编

中南工业大学出版社

内 容 简 介

本《手册》是我国建国以来第一部专门论述铝合金及其加工工艺与应用方面的大型工具书。它全面阐述了，铝合金物理冶金基础，铝合金的组织与性能，铝材加工工艺，铝结构与制品的制造工艺，铝材应用，铝材标准与数据，世界变形铝合金的成分与性能等。汇集了270余种在国际变形铝合金委员会注册的铝合金成分，并对牌号、状态和代号作了全面介绍。凡是与铝合金有关的内容，从理论研究到实际应用，从我国的实际经验到工业发达国家的成就都涉及到了，内容丰富、全面、实用，对教学与材料研究部门、加工企业、使用单位及经营管理部門的广大科技工作者、教师与学生、干部与管理人员、技师与中高级技术工人都有相当高的参考价值。

铝 合 金 及 其 加 工 手 册

主 编：王祝堂 田荣璋

责 任 编 辑：王 捷 田

插 图 责 任 编 辑：刘 楠 英

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092/16 印张：89 字数：2300千字 插页：4

1980年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数：00001—10000

*

ISBN 7-81020-192-3/TG-006

定价：平装38元 精装40元

编辑出版说明

1. 随着我国社会主义四个现代化建设的发展,铝加工工业迎来了黄金时代,生产铝材的企业已达400余家,产量超过50万吨。为了促进我国铝加工工业的发展与开发铝材应用的新领域;为了适应铝加工工业有关人员的需求,本社组织20余位教授、专家、高级工程师参加编写这本《铝合金及其加工手册》。

2. 本《手册》荟集了我国材料科学界造诣较深的专家、学者多年潜心研究的成果,反映了国外的最新科学技术成就,收集了许多实用性强的资料与数据,在一定程度上代表了我国与世界工业发达国家在铝合金及其加工业的理论研究和加工工艺水平。

3. 本《手册》内容丰富、先进、实用,对教学和材料研究部门、加工企业、使用单位及经营管理部门的广大科技工作者、教师和学生、干部与管理人员、技师与中高级技术工人都有相当高的参考价值。

编写这样一部综合性的大型工具书本身就是一项复杂的大工程,加上编写人员较多,分布在全国各地,编写时间短促,在体例上、编排上以及内容上有不尽完善之处,甚至出现差错都是可能的,敬请指正。

4. 我们打算在1993年前后对本《手册》进行修订,出版第二版,同时把篇幅压缩到150万字左右,因此,希望各界人士对本书的方方面面提出宝贵意见。

中南工业大学出版社编辑部

一九八八年九月

编委会成员（按姓名笔划为序）

王祝堂 田荣璋 顾景诚 曾苏民

编写人员（按姓名笔划为序）

马宏声 王医冶 王祝堂 白淑文 田荣璋 刘静安
朱锦序 李 湘 李长明 李体彬 李松瑞 陈树金
陈斯杰 苏学常 吴庆龄 辛达夫 张君尧 钟诚道
洪永先 顾景诚 黄贞源 温景林 黎文献

3467/39

序 言

在旧中国，铝加工工业基本上是一片空白，因而也不可能有人自己的铝加工的知识生产。那时我们没有自己的科研与设计，没有自己的信息与情报，在大学里也没有学习铝加工的，关于铝加工的书中国人写的一本也没有。

1956年，我国第一个铝加工厂（现在的东北轻合金加工厂）在哈尔滨建成投产。这个工厂是引进的，从此中国有了自己的铝加工工业，也开始有了自己的铝加工人才与知识，不仅生产了铝材，也出了科技成果，自己设计图纸，大学里有了自己的铝加工讲义，有了自己的铝加工管理知识，也有了自己的铝加工方面的书。这个时期知识生产大体上与物质生产协调发展，二者相辅相成，相互促进。

在发达国家封锁情况下，我国能生产国防、民用的一切铝材，当时我国铝加工水平和发达国家的差距不算大。这个时期进步很快，后来“文革”十年，知识受到了严重的摧残，物质生产必然遭到严重破坏，那时因为提倡过写书还遭到了批判。

党的十一届三中全会以来，我国的铝加工工业蓬勃发展，生产量成倍增长，老厂进行了改造，新建了很多工厂，也从国外买进了大批新设备，给我国铝加工工业的现代化奠定了物质基础。从设备能力来讲，我国的铝加工工业的规模已经很大，我们买来了大批七八十年代的新设备，但是，绝不能因此就可以讲，我们已经有了八十年代的水平，有了八十年代的知识。

我们经常看到一些工厂买了八十年代的设备，不能生产八十年代的产品；我们的工资比发达国家的低得多，可是我们的产品成本反比外国的高；我们花了大量投资，有的设备数量已达到世界前三名，但开工率很低，停工待料。原因很多，不过这与重视设备忽视知识是有关的。不能讲我们没有知识，就是知识太旧了。

现在是我国比以往任何时期迫切需要新的铝加工知识的时候，国内有志于振兴铝加工事业的学者、专家，利用业余时间，没有花国家的钱，没有开一次会议，用他们的辛勤劳动编出了《铝合金及其加工手册》这本230余万字的大型工具书；而中南工业大学出版社克服种种困难予以及时出版，的确难能可贵。这本书介绍了国内外铝加工方面的新知识，内容广泛而又丰富，是一件很值得庆幸的事，必将有助于补上目前新知识的不足。我们希望今后有更多的著作来丰富我国铝加工新的知识生产，也希望那种不太重视知识的怪现象有所改变。

铝加工工业的现代化，知识的现代化决不在设备现代化之下。

中国有色金属加工工业协会理事长 王 哲

1988年9月1日于北京

目 录

第一篇 铝合金物理冶金基础

第一章 相图基本知识	田荣璋 (3)
第一节 相图特征.....	(3)
一、二元相图特征.....	(4)
二、三元相图特征.....	(4)
三、非平衡冷却的影响.....	(6)
四、相图中的相区分析.....	(7)
五、杠杆定律和重心法则.....	(7)
第二节 怎样查相图.....	(8)
第二章 铝合金相图选编	田荣璋 (10)
第一节 实用温标.....	(10)
第二节 铝合金中的相.....	(11)
第三节 铝合金二元相图.....	(14)
第四节 铝合金三元相图.....	(29)
第三章 铝合金相分析	苏学常 (43)
第一节 相分析方法.....	(43)
一、新相的鉴定.....	(43)
二、已知相的识别.....	(43)
第二节 铝合金中的相.....	(43)
一、铝合金相的分类.....	(43)
二、铝合金相的互溶.....	(44)
三、铝合金中的不平衡相.....	(45)
四、铝合金的初晶相.....	(45)
五、铝合金中的共晶相.....	(47)
六、铝合金中的包晶和包共晶组织.....	(49)
第三节 工业变形铝合金的相组成.....	(53)
一、工业纯铝.....	(53)
二、防锈铝.....	(53)
三、硬 铝.....	(53)
四、锻 铝.....	(54)
五、超硬铝.....	(55)
六、特殊铝.....	(56)
第四章 铸锭组织与均匀化	李松瑞 (68)
第一节 铸态合金组织和性能特征.....	(68)
第二节 铝合金均匀化退火时组织和性能的变化.....	(69)

第三节 均匀化退火温度及时间	(70)
一、温 度	(70)
二、保温时间	(71)
三、加热速度及冷却速度	(71)
第五章 加工硬化及回复、再结晶李松瑞	(72)
第一节 变形铝及铝合金的组织与性质	(72)
一、冷变形铝及铝合金的组织特征	(72)
二、冷变形铝及铝合金性能变化	(73)
三、铝及铝合金在高温下变形特征	(75)
第二节 回 复	(75)
第三节 再结晶	(76)
一、再结晶形核与晶核长大	(76)
二、再结晶温度	(78)
三、再结晶晶粒长大及二次再结晶	(79)
四、再结晶晶粒尺寸	(80)
五、再结晶组织	(83)
第四节 变形的表面现象	(84)
一、吕德带 (Luder's band)	(84)
二、橘皮现象	(85)
三、环状线	(85)
第六章 固溶及脱溶李松瑞	(87)
第一节 脱溶序列	(88)
一、脱溶的一般序列及其特征	(88)
二、各种脱溶相结构	(91)
三、主要变形铝合金系的脱溶过程	(95)
四、回归现象	(97)
第二节 脱溶相的分布	(98)
一、普遍脱溶	(98)
二、局部脱溶	(98)
第三节 淬火时效工艺编制原则	(100)
一、固溶处理	(100)
二、淬 火	(103)
三、自然时效	(110)
四、人工时效	(111)
第四节 形变热处理原理	(114)
一、低温形变热处理	(114)
二、高温形变热处理	(116)
三、微形变热处理	(117)
第七章 铝及铝合金的化学性能王祝堂	(120)
第一节 腐蚀分类及其破坏形式	(120)
一、均匀腐蚀	(120)
二、点腐蚀	(121)

三、缝隙腐蚀等.....	(122)
第二节 晶间腐蚀与剥落腐蚀.....	(125)
一、晶间腐蚀.....	(125)
二、剥落腐蚀.....	(126)
第三节 应力腐蚀开裂 (SCC).....	(127)
一、SCC机理.....	(128)
二、工业铝合金的SCC.....	(129)
三、预防SCC的措施.....	(130)
第四节 大气腐蚀与水的腐蚀.....	(131)
一、大气腐蚀.....	(131)
二、水腐蚀.....	(133)
第五节 其他物质对铝的腐蚀.....	(136)
一、土 壤.....	(136)
二、食 品.....	(136)
三、化工产品.....	(136)
四、建筑材料.....	(136)
五、卤代烃.....	(137)
第六节 腐蚀疲劳与磨蚀等.....	(137)
一、腐蚀疲劳.....	(137)
二、空 蚀.....	(138)
三、冲击腐蚀.....	(138)
四、磨 蚀.....	(138)
五、摩擦腐蚀.....	(139)
第七节 影响腐蚀的主要冶金因素.....	(139)
一、合金成分.....	(139)
二、晶粒大小与方向.....	(140)
三、热处理与冷加工.....	(140)
第八节 环境因素对铝的腐蚀影响.....	(140)
一、水.....	(140)
二、pH 值.....	(140)
三、微量元素.....	(141)
四、温 度.....	(141)
五、流体流速.....	(142)
六、金属表面积与体积之比.....	(142)
七、金属表面积与流体体积比.....	(142)
八、压 力.....	(143)
第九节 防腐措施.....	(143)
一、合金与状态选择.....	(143)
二、结构设计.....	(143)
三、有机涂料.....	(143)

四、缓蚀剂·····	(145)
五、阴极保护·····	(145)
六、表面处理·····	(145)
七、改变腐蚀介质·····	(146)

第二篇 变形铝合金

第一章 纯铝的特性及合金化规律 ·····	蔡文献 (151)
第一节 纯铝的一般特性·····	(151)
第二节 纯铝的物理性能·····	(152)
一、晶体结构·····	(152)
二、密度·····	(153)
三、热学性能·····	(153)
四、电学性能·····	(155)
五、磁学性能·····	(155)
六、光学性能·····	(155)
第三节 纯铝的力学性能·····	(157)
第四节 合金元素及杂质对纯铝性能的影响·····	(158)
一、主要合金元素的影响·····	(158)
二、微量元素和杂质的影响·····	(169)
三、常用元素对铝的物理性能的影响·····	(173)
第二章 工业纯铝和热处理不可强化的变形铝合金 ·····	蔡文献 (181)
第一节 工业高纯铝和工业纯铝·····	(181)
一、LG5 (1199)·····	(181)
二、L2 (1060)·····	(182)
三、L3 (1050)·····	(183)
四、L5-1 (1100)·····	(185)
第二节 包覆铝·····	(188)
一、LB1 (7072)·····	(188)
二、LB2·····	(190)
第三节 铝-镁系防锈铝·····	(190)
一、LF2 (5052)·····	(190)
二、LF3 (5254)·····	(192)
三、LF4 (5083)·····	(195)
四、LF5-1 (5056)·····	(196)
五、LF6·····	(198)
六、LF11 (5456)·····	(200)
第四节 铝-锰系防锈铝·····	(203)
LF21 (3003)·····	(203)
第三章 热处理可强化的变形铝合金 ·····	蔡文献 (207)
第一节 硬铝·····	(207)

一、LY1 (2117)	(207)
二、LY2	(208)
三、LY4	(210)
四、LY6	(212)
五、LY8	(213)
六、LY9	(214)
七、LY10	(215)
八、LY11 (2017)	(217)
九、LY12 (2024)	(220)
十、LY16 (2219)	(225)
十一、LY17	(229)
第二节 锻铝	(231)
一、LD2	(231)
二、LD2-2 (6070)	(233)
三、LD5	(234)
四、LD6	(236)
五、LD7 (2618)	(236)
六、LD8	(239)
七、LD9 (2018)	(239)
八、LD10 (2014)	(240)
九、LD11 (4032)	(244)
十、LD30 (6061)	(245)
十一、LD31 (6063)	(246)
第三节 超硬铝	(250)
一、LC3	(250)
二、LC4	(252)
三、LC9 (7075)	(254)
四、LC10	(258)
第四章 特殊铝	黎文献 (261)
一、LT1 (4043)	(261)
二、LT13 (4343)	(262)
三、LT17 (4047)	(263)
四、LT66	(263)
五、LT75	(265)
六、铝-硅引线合金	(265)
七、低磁化率Al-Cu-Zn-Mg合金	(265)
第五章 超塑铝合金	吴庆龄 (267)
第一节 超塑性的种类及变形的力学特征	(267)
一、超塑性的种类	(267)
二、超塑性变形的力学特性	(267)

三、超塑变形机理	(270)
第二节 品粒细化及抑制品粒粗化的方法	(270)
一、晶粒细化方法	(270)
二、抑制品粒粗化的方法	(271)
第三节 超塑铝合金	(272)
一、纯铝的超塑性	(272)
二、铝-钙系超塑合金	(272)
三、Al-Cu系超塑合金	(273)
四、Al-Cu-Mg-Zr系超塑合金	(277)
五、Al-Cu-Mg系超塑合金	(278)
六、Al-Mg系超塑合金	(279)
七、Al-Mg-Si系超塑合金	(280)
八、Al-Zn-Mg-(Zr)系超塑合金	(281)
九、Al-Zn-Mg-Cu系超塑合金	(284)
十、Al-Li系超塑合金	(285)
第六章 粉末冶金铝合金	张君尧 (290)
第一节 粉末冶金铝合金生产工艺	(290)
一、制 粉	(290)
二、压 实	(294)
三、热加工和热处理	(296)
第二节 用快速凝固法生产粉末冶金铝合金材料的优点	(296)
一、细化晶粒	(296)
二、增加合金化元素的过饱和固溶度	(298)
三、细化金属间化合物粒子	(298)
第三节 工业粉末冶金铝合金	(299)
一、粉末冶金高强度铝合金	(299)
二、粉末冶金高弹性模量低密度铝合金	(304)
三、粉末冶金热强铝合金	(306)
四、粉末冶金低膨胀系数铝合金和耐磨铝合金	(311)
第七章 铝基复合材料	洪永光 (316)
第一节 基体和强化纤维	(316)
一、基 体	(316)
二、强化纤维	(317)
第二节 复合材料的制造方法及不同种类的复合材料	(319)
一、复合材料的制造方法	(319)
二、不同种类的铝基复合材料	(320)
第三节 复合材料的性能特点	(329)
一、力学性能	(329)
二、其他性能	(332)
第四节 铝基复合材料的应用	(333)

第八章 铝-锂系合金.....	王祝堂 (337)
第一节 低密度、高刚性机理.....	(337)
第二节 Al-Li合金的时效过程与断裂特性.....	(338)
第三节 Al-Li合金的生产方法.....	(339)
第四节 Al-Li合金的性能与研制目标.....	(340)
一、S141合金的性能.....	(340)
二、苏联的BAI23合金.....	(340)
三、其他国家的Al-Li合金.....	(343)

第三篇 铝材加工工艺

第一章 熔炼与铸锭.....	马宏声 (349)
第一节 铝合金熔炼的基本原理.....	(349)
一、熔炼过程中热的转移(热力学过程).....	(349)
二、合金元素的溶解与蒸发.....	(350)
三、金属与炉气的作用.....	(351)
四、熔融铝与炉衬耐火材料的作用.....	(354)
第二节 铝中的气体.....	(354)
一、气体在铝中存在的形式.....	(354)
二、气体的溶解度.....	(354)
三、气体的测量方法.....	(355)
第三节 铝中的非金属夹杂.....	(356)
一、夹杂的种类及形态.....	(356)
二、非金属夹杂物的检查方法.....	(357)
第四节 铝合金熔体净化.....	(358)
一、熔体净化目的和要求.....	(358)
二、炉内处理(Batch处理).....	(358)
三、炉外连续处理(In-Line处理).....	(362)
第五节 铝合金熔炼设备.....	(367)
一、对熔炼炉的基本要求.....	(367)
二、铝合金熔炼炉的种类、用途及特点.....	(367)
三、各种炉型的主要技术参数.....	(368)
第六节 铝合金炉料的组成.....	(371)
一、铝合金炉料的种类及要求.....	(371)
二、炉料配比及选用原则.....	(372)
第七节 铝合金铸锭组织及控制.....	(372)
一、铸锭的典型组织.....	(372)
二、羽毛状晶.....	(372)
三、浮游晶.....	(373)
四、枫树组织.....	(374)
五、铝合金中粗大的金属间化合物.....	(375)

六、铸锭组织的控制	(375)
第八节 铸锭缺陷	(377)
一、偏析	(377)
二、疏松	(378)
三、裂纹	(378)
四、气孔	(385)
五、夹杂	(385)
六、冷隔	(385)
第九节 铸锭成型方法及设备	(385)
一、块式铁模铸锭	(386)
二、半连续铸锭(DC)	(387)
三、半连续铸锭的新技术	(392)
四、连续铸轧	(395)
五、水平连续铸锭	(403)
第二章 板带材轧制陈斯杰	(405)
第一节 轧制理论简述	(405)
一、常用轧制参数简表	(405)
二、基本概念	(405)
三、轧制力计算	(413)
四、轧制力矩和主电机功率的计算	(416)
第二节 热轧	(419)
一、热轧前的准备工作	(419)
二、热轧工艺参数的确定	(422)
三、热轧的冷却和润滑	(430)
四、热轧辊型	(431)
五、热轧主要废品及产生原因	(432)
第三节 冷轧及中温轧制	(432)
一、冷轧和中温轧制的主要设备及轧制规范	(432)
二、冷轧及中温轧制张力的控制	(433)
三、冷轧及中温轧制的润滑与冷却	(435)
四、板带测厚及厚度控制	(436)
五、冷轧及中温轧制的板形控制	(438)
六、冷轧及中温轧制的辊型控制	(439)
七、冷轧及中温轧制的主要废品	(441)
第四节 变断面板片轧制	(441)
第五节 铝及铝合金涂层板的生产	(442)
一、涂层前对带板的要求	(443)
二、涂层工艺流程	(443)
三、涂层机列的主要设备及工作原理	(443)
四、涂料及涂膜厚度	(444)

第六节 精整和包装	(444)
一、卷材预剪	(444)
二、板材热处理	(445)
三、板带材精整和矫直	(447)
四、板材的检查验收和包装	(451)
第三章 型、棒材挤压	黄贞源 (453)
第一节 挤压方法分类	(453)
一、正向挤压法	(454)
二、反向挤压法	(454)
三、康福姆 (CONFORM) 连续挤压法	(455)
四、其他挤压方法	(456)
第二节 金属挤压时的应变状态和挤压力计算公式	(458)
一、挤压时金属的应变状态	(458)
二、正向挤压时金属的变形过程和特点	(460)
三、反向挤压时金属的变形过程和特点	(462)
四、挤压力计算公式	(462)
第三节 挤压制品的组织与性能	(464)
一、挤压制品的组织与性能的一般特点	(464)
二、挤压效应	(464)
三、粗晶环	(467)
第四节 铝及铝合金型、棒材挤压工艺	(469)
一、一般型、棒材生产	(469)
二、民用建筑型材生产	(480)
三、反向挤压	(482)
四、壁板型材挤压	(489)
五、阶段变断面型材的生产	(491)
六、变断面型材生产工艺特点	(494)
第五节 型、棒、带材挤压生产中的主要缺陷、产生原因	(495)
第六节 挤压设备	(497)
第四章 管材生产	刘静安 (502)
第一节 概述	(502)
一、管材的品种、分类及用途	(502)
二、管材的生产方法	(503)
三、铝合金管材生产的工艺特点	(503)
四、管材生产的工艺流程	(504)
第二节 管材热挤压	(506)
一、无缝管热挤压	(506)
二、管材的焊合挤压	(510)
三、管材挤压时的变形特点和力学条件	(510)
四、管材挤压工艺	(513)

五、挤压管材的质量控制	(517)
第三节 管材冷挤压	(519)
一、管材冷挤压的工作条件与生产特点	(519)
二、管材冷挤压的工艺特点	(519)
三、冷挤压管材的质量控制	(522)
第四节 管材轧制	(522)
一、管材轧制方法	(522)
二、管材冷轧工艺	(524)
三、冷轧管材质量控制	(528)
第五节 焊管生产	(529)
一、管材焊接方法	(529)
二、铝及铝合金高频焊管工艺	(530)
三、焊接管质量控制	(532)
第六节 管材的连续挤压(康福姆挤压)	(533)
第七节 管材的热处理	(533)
一、退火	(533)
二、淬火	(534)
三、人工时效	(535)
第八节 管材的矫直、精整、检验和包装交货	(535)
一、管材的矫直	(535)
二、管材的精整	(536)
三、管材的检验	(536)
四、成品管料的包装和交货	(536)
第五章 铝箔轧制与二次加工	章达夫 (537)
第一节 我国铝箔工业的发展	(538)
第二节 铝箔的规格和品种	(539)
一、铝箔的定义	(539)
二、铝箔的品种	(539)
第三节 铝箔的性质	(540)
一、铝箔的一般性质	(540)
二、铝箔的防潮性能	(540)
三、铝箔的绝热性能	(540)
四、铝箔的电学性能	(542)
五、铝箔的力学性能	(542)
六、铝箔的化学性能	(545)
第四节 铝箔生产工艺	(547)
一、影响铝箔生产工艺的因素	(547)
二、铝箔毛料	(547)
三、铝箔生产的工艺流程	(548)
四、轧制工艺参数的选定	(549)

五、轧 辊	(558)
六、轧制油	(559)
七、铝箔的复合和分卷	(564)
八、铝箔的软化退火	(566)
九、脱 脂	(567)
十、铝箔的分切	(568)
十一、铝箔质量的评定	(569)
第五节 铝箔的深加工	(570)
一、重 卷	(570)
二、压 花	(570)
三、切 块	(571)
四、复 合	(571)
五、涂 层	(575)
六、多色印刷	(575)
七、多种精加工的组舍	(576)
第六节 铝箔的应用	(579)
第六章 棒、线材拉制	白淑文 (581)
第一节 概 述	(581)
一、铝及其合金拉制线材的品种和用途	(581)
二、铝及其合金棒材的品种	(581)
三、铝及其合金棒、线材拉制的主要特点	(581)
第二节 拉制时金属的受力分析	(581)
第三节 变形区中的应力分布规律	(582)
一、轴向的应力分布	(582)
二、径向上的应力分布	(583)
三、影响应力分布的因素	(584)
第四节 实现拉制的条件	(588)
一、塑性条件	(588)
二、稳定和安全拉制的条件	(588)
第五节 拉制力和安全系数变化	(588)
一、坯料条件	(589)
二、拉 模	(589)
三、摩擦与润滑	(590)
四、拉制温度	(590)
五、变形速度	(590)
六、变形程度	(591)
七、反拉力	(591)
八、振 动	(593)
九、设备特性	(593)
第六节 拉制力的确定	(593)