



高荫桓 张淑泉 宁福元 编

实用铝加工手册

87
T3146.2
21

3

实用铝加工手册

高荫迪 张泽泉 宁福元编

B3 8/2

黑龙江科学技术出版社



1987年·哈尔滨

B 208175

责任编辑：王义山

封面设计：郑道毅

实用铝加工手册

高毅恒 张泽泉 宁福元 编

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街 35 号)

佳木斯印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米 32开本 20印张 409千字

1987年8月第1版·1987年8月第1次印刷

印数：1—8,000册

书号 15217·258 定价：4.10

内 容 提 要

本书汇编了国内外最新技术资料，并收入大量数据、图表及先进的工艺参数，如铝及铝合金牌号、成分、状态、组织、性能、熔炼、铸造、轧制、挤压、模压锻造、焊接、成形、切削加工、表面处理等，同时对铝合金的特点、用途、结构设计及选用原则、深加工等，亦作了简明介绍。因而可谓一本全面、新颖、实用的工具书。

本书可供从事铝加工的技术人员及工人使用，亦可供材料科研人员、技术改造人员、大专院校师生及广大用户参考。



前 言

近十几年来,铝加工工业迅速发展,1980年全世界的铝产量已达到1650万吨,其中加工材约占70%。在现代金属材料中,铝材的应用仅次于钢铁,居第二位。我国的铝加工工业是五十年代中期建设和发展起来的。从第一个大型铝加工厂投产到现在虽只有三十年的历史,但发展迅速。现在,我国的铝加工工业已经颇具规模。铝及铝合金材料除航空、航天等工业大量需要以外,已广泛被应用于国民经济的各个部门和人民日常生活的各个方面。特别是近年来铝材深加工的发展更是日新月异。

为了适应我国铝加工工业的发展及四化建设的需要,特编写了《实用铝加工手册》。

本手册力求全面、系统地介绍当代世界铝加工先进工艺,并且使其具有广泛的实用价值,因而参考、收入了大量的国外资料。同时,考虑到技术开发、市场开发的需要,还简要地介绍了铝材的应用、选用原则及深加工等。

本手册第七、八、十、十五、十七、十九章由高荫桢编写;第一、二、三、四、五、六、十八章由张泽泉编写;第九、十一、十二、十三、十四、十六章及附录由宁福元编写。本书经李满良审阅。编者向给本书提供过帮助的所有同志表示衷心感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中不当之处在所难免,诚恳地希望读者批评指正。

编者 1986年7月

序 言

近年来,我国铝工业有很大发展,今后还将有更大的发展。工作在铝加工生产、技术、科研和教育战线的广大工人、管理人员及科研技术人员很需要一本关于铝加工生产和技术方面的综合性的实用工具书。《实用铝加工手册》在一定程度上能够满足这种需要。

《实用铝加工手册》汇集了国内外有关的铝及铝合金加工的资料、数据和图表。这些内容虽然在某些著作及有关刊物上有过一些介绍,但是从原材料到深加工进行系统介绍的著作,在国内尚属少见,所以,这本手册内容是比较全面、实用的。

《实用铝加工手册》尽管有的章节叙述的深度及广度还不够,但许多内容、资料、数据和图表还是近期发表的。如在铝和铝合金的熔铸技术方面,着重介绍了多种除气与过滤综合净化金属的新技术及热顶、多模和电磁铸造等新工艺;在铝和铝合金表面处理方面介绍了铝材的化学着色、阳极氧化着色、电泳涂漆和涂层等表面处理技术;介绍了铝和铝合金板材、型材、箔材等深加工技术等。这些内容都是比较新的。

《实用铝加工手册》可谓一本内容全面、新颖、准确、实用的工具书。愿它的出版对促进我国的铝加工工业发展发挥积极作用。

李满良

1986.7

目 录

序 言 前 言

第一章 铝	1
第一节 铝的发展简史.....	2
第二节 铝的生产与消费.....	3
第三节 铝的特点及其在工业部门中的应用.....	23
第四节 纯铝的牌号和杂质含量.....	37
第二章 铝合金的分类、牌号及状态	43
第一节 铝合金的分类.....	43
第二节 铝合金的牌号及状态.....	44
第三节 冶金特性.....	52
第四节 化学成分.....	58
第五节 铝合金典型热处理.....	81
第六节 铝合金典型退火处理.....	96
第七节 结构用铝合金的研究现状及发展趋势...	98
第三章 铝合金材料的选用	107
第一节 材料选择的基本原则.....	107
第二节 变形铝合金产品及状态.....	110
第三节 典型性能及应用.....	137
第四节 各工业部门用的铝合金.....	148
第四章 铝及铝合金的物理性能	157
第五章 铝及铝合金的机械性能	169

第一节	典型机械性能	169
第二节	高温拉伸性能	179
第三节	低温机械性能	186
第四节	蠕变强度	197
第五节	疲劳强度	201
第六节	断裂韧性	203
第七节	抗应力腐蚀开裂性能	206
第六章	铝及铝合金的化学性质	212
第一节	氧化膜及氧化行为	212
第二节	铝在酸、碱中的化学行为	213
第三节	铝在中性水溶液中的化学行为	215
第四节	铝在特殊环境下的腐蚀	220
第五节	在特定合金中的腐蚀	222
第七章	熔炼与铸造	233
第一节	熔炼	233
第二节	铸造	269
第八章	板、带、箔材生产	314
第一节	生产方法及工艺流程	314
第二节	热轧	319
第三节	冷轧	322
第四节	热轧和冷轧的润滑剂	325
第五节	板带材的应用	328
第六节	铝箔	334
第九章	挤压产品生产	348
第一节	生产方法及工艺流程	348
第二节	型材的挤压与设计	355
第三节	建筑型材生产	362

第四节	挤压产品的矫直、检查与包装	369
第十章	锻件生产	379
第一节	锻造用合金的机械性能	379
第二节	锻件的种类	381
第三节	模锻件的设计	383
第四节	模锻件的质量	384
第五节	冷锻件	385
第十一章	表面处理	388
第一节	表面处理的种类	388
第二节	预处理	391
第三节	化学氧化处理	395
第四节	阳极氧化及着色处理	397
第五节	涂漆	419
第六节	电镀	423
第七节	铝搪瓷	427
第十二章	产品分类及规格范围	428
第一节	形状与名称	428
第二节	加工范围	431
第十三章	结构设计	442
第一节	许用应力和安全系数	442
第二节	贮气罐和高压容器类标准	446
第三节	建筑设计标准	457
第四节	结构设计上的注意事项	461
第十四章	铝材的保管及使用	464
第一节	铝材的保管	464
第二节	铝材的使用	466
第十五章	成形加工	469

第一节	剪切加工	469
第二节	弯曲加工	471
第三节	深冲加工	483
第十六章	铝材深加工	494
第一节	全铝饮料罐加工	495
第二节	铝箔复合材料加工	506
第三节	铝型材深加工	528
第四节	彩色铝板加工	556
第十七章	铝合金的切削加工	562
第一节	铝合金的切削特点	562
第二节	铝合金的切削性	564
第三节	切削条件	566
第四节	切削加工的注意事项	569
第五节	冷却润滑剂	569
第六节	切削速度	570
第十八章	铝及铝合金的接合	572
第一节	焊接	572
第二节	钎焊	588
第十九章	铸件	594
第一节	铝合金铸件及其铸造方法	594
第二节	砂模和金属模铸造用合金	599
第三节	压力铸造用铝合金	608
附 录		610
附表 1	铝板的尺寸、质量换算表	
附表 2	铝管的尺寸、质量换算表	
附表 3	铝棒的尺寸、质量换算表	
附表 4	铝线的尺寸、质量换算表	

附表 5	铝箔的质量、面积换算表	
附表 6	常用计量单位换算表	
附表 7	各种硬度换算表	
附表 8	常用金属的物理性能	
附表 9	各国变形铝合金牌号对照表	
参考文献		626

第一章 铝 〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕

铝是地壳中分布最广、含量最丰富的元素之一，占地壳重量的8%，见表1-0-1〔1〕。自从1886年霍尔与埃罗发明电解法以来，全世界铝的产量迅速增长。从40年代起原铝产量的增长速度比其他四种常用有色金属(Cu、Zn、Pb、Sn)都快，见图1-0-1〔2〕。1980年全世界有色金属产量为3500万吨，其中铝的产量约为1650万吨，占有有色金属产量的45%，居有色金属产量的首位，在各种金属产量中仅次于钢铁。

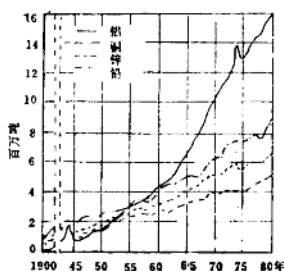


图 1-0-1 1900—1980年世界原铝产量与其他有色金属产量的比较

表 1-0-1 地壳中主要化学元素分布的百分数

元素	重量 %
氧	45.2
硅	27.2
铝	8.0
铁	5.8
钙	5.06
镁	2.77
钠	2.32
钾	1.68
钛	0.86
氢	0.14
锰	0.10
磷	0.10
总计	99.23

第一节 铝的发展简史

铝是一种比较年轻的金属，只是从本世纪初才开始大规模生产。1807年英国电化学家H.达维用电化学方法分离明矾石，确认有金属铝存在，因此命名为“铝”〔3〕。1820~1850年期间法国和德国进行了各种试验。1825年丹麦电化学家厄斯特第一个在试验室用化学方法分离金属铝成功。1855年在法国巴黎博览会上第一次展出了铝棒〔4〕，引起了人们的注意。

1859年法国第一个大规模生产了1.7吨铝。由于铝的冶炼技术复杂和所采用的技术成本高，所以生产的发展很缓慢。一直到1886年霍尔和埃罗用电解法由氧化铝提炼铝和1888年用拜耳法由铝矾土矿生产氧化铝，铝的成本才开始下降，在美国、瑞士、英国相继建立了铝冶炼厂。

美国第一个有重要意义的铝产品是1876年用铸件和铝管材制成的工程经纬仪。1884年在建筑方面用2.8公斤铝铸件作华盛顿纪念塔的塔尖。1889年美国用铝制造了第一个铝壶，并且很快用铝制造炊具。

到19世纪末铝的生产成本开始明显下降，铝本身已经成为一种通用的金属。20世纪初铝材的应用主要在运输工业得到了发展。1901年用铝板制造汽车车体。1903年美国铝业公司把铝部件供给莱特兄弟制造小型飞机。汽车发动机开始采用铝铸件，造船工业也采用铝合金厚板和铸件。铝材在其它工业上的应用也得到了迅速的发展（即铝制外科手术设备、铝制印刷版及炼钢用的脱氧剂）。1910年世界的铝产量增加到44400吨。

20世纪20年代铝的各种新产品得到了不断的发展。1910年开始大规模生产铝箔。其它新产品，如铝软管、铝家具、铝幕墙及家庭用铝箔也相继出现。许多热处理强化高强铝合金的出现使铝在建筑工业和汽车、船舶及飞机上的应用得到了迅速的发展。

第二节 铝的生产与消费

在第一次世界大战期间欧洲和美国都使用了大量铝材。德国阿尔弗雷德·维耳姆研制成功了“硬铝”，第一个铝合金

具有接近钢的高强度。美国铝业公司同时也研制成功了高强度铝合金，在战争期间美国把90%的铝用于军事工业（做飞机发动机、电机的传动机构等）。

世界原铝消费量增长的急剧变化在30年代初期开始减慢（世界铝产量从1929年的331500吨下降到1933年的180800吨）。然而，在30年代的后几年铝的生产和消费很快得到了恢复，1939年铝的产量达到了744000吨。1950年以前世界铝产量如表1-2-1所示。

两次战争之间的时期是铝工业紧张研究和剧烈发展的阶段。铝材的应用扩大到飞机机身和机翼蒙皮（1911年出现了第一架用铝板作蒙皮的飞机），挤压方法得到了改善，出现了阳极氧化处理技术，利用新方法制造大型结构型材。世界的铝产量与消费量如表1-2-2所示。^[5]

表 1-2-1 1859~1950年世界原铝和再生铝的总产量

年	原 铝 (吨)	再生铝 ⁽¹⁾ (吨)	总 计 (吨)
1859 ⁽²⁾	1.7	—	1.7
1862	1.3	—	1.3
1870	1.0	—	1.0
1875	0.9	—	0.9
1880	1.1	—	1.1
1885	13.3	—	13.3
1890	175.0	—	175.0
1895	1427.0	—	1427.0

续 表 1-2-1

年	原 铝 (万吨)	再生铝 ⁽¹⁾ (万吨)	总 计 (万吨)
1900	0.73	—	0.73
1905	1.28	—	1.28
1910	4.44	—	4.44
1915	7.80	0.73	8.53
1920	12.60	1.45	14.05
1925	18.10	4.00	22.10
1930	26.90	4.04	30.94
1935	25.80	5.50	31.30
1940	78.30	12.40	90.70
1945	87.00	37.60	124.60
1950	150.70	40.00	190.70

(1)1913年以前未记录再生铝产量。

(2)第一次记录原铝产量。

在第二次世界大战期间铝的消费量又一次急剧增加，世界的铝产量从1940年的907000吨增加到2100000吨。在战争期间仅美国就使用了1800000吨铝材，制造了304000架飞机。尽管1944年以后铝的消费量减少，但新产品仍然得到了不断的发展，用铝制造载重汽车和拖拉机的轮盘锻件、高压输电线用的钢芯铝绞线、建筑用的装饰板及飞机轴承。1950~1980年世界各国原铝的产量如表1-2-3所示。

自从1950年以后，新产品的应用范围不断扩大。开发了

特殊用途的新合金(宇航用的高强、抗腐蚀粉末合金)及新技术(例如天然气罐用的厚铝板气体氩弧焊接)。最重要的产品是铝制饮料罐及电气工业、交通运输、建筑工业用的材料。1980年某些国家主要工业部门用铝的百分数如表 1-2-4 所示。某些国家半成品铝材的人均消费量如表 1-2-5 所示。

表 1-2-2 1950~1980年世界铝产量及消费量(万吨)

年代	原铝产量	原铝消费量	再生铝消费量	总计消费量
1950	150.69	158.36		
51	180.76	180.96		
52	203.23	195.73		
53	245.39	238.96		
54	282.04	254.33		
55	310.47	310.46		
56	334.26	322.66		
57	339.72	298.99		
58	355.47	317.65		
59	409.20	403.96		
1960	454.79	417.89		
61	459.01	452.32		
62	499.85	497.81		
63	540.08	546.96	137.86	684.82
64	605.49	598.55	154.46	753.01
65	658.41	663.52	172.89	836.41
66	720.87	759.04	186.99	946.03
67	793.38	776.58	191.34	967.92