

“十一五”国家重点图书出版规划项目

# A | 中国有色金属丛书 中国有色金属工业协会组织编写 铝及铝合金 管材生产

魏长传 主编

曹秀萍 石建业 副主编

Nonferrou

 中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



“十一五”国家重点图书出版规划项目



# 铝及铝合金管材生产

中国有色金属工业协会组织编写

 中南大学出版社  
[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

---

图书在版编目(CIP)数据

铝及铝合金管材生产/魏长传主编. —长沙:中南大学出版社,  
2010. 12

ISBN 978-7-5487-0088-3

I. 铝... II. 魏... III. ①铝—生产工艺②铝合金—管材—  
生产工艺 IV. ①TG146.2②TG376.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 157672 号

---

铝及铝合金管材生产

魏长传 主编

---

责任编辑 田荣璋

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

印 装 长沙利君漾印刷厂

---

开 本 787×1092 1/16 印张 18 字数 447 千字

版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0088-3

定 价 65.00 元

---

图书出现印装问题,请与出版社调换

中国有色金属丛书  
**CNMS** 编委会

**主任：**

康 义                      中国有色金属工业协会

**常务副主任：**

黄伯云                    中南大学

**副主任：**

熊维平	中国铝业公司
罗 涛	中国有色矿业集团有限公司
李福利	中国五矿集团公司
李贻煌	江西铜业集团公司
杨志强	金川集团有限公司
韦江宏	铜陵有色金属集团控股有限公司
何仁春	湖南有色金属控股集团有限公司
董 英	云南冶金集团总公司
孙永贵	西部矿业股份有限公司
余德辉	中国电力投资集团公司
屠海令	北京有色金属研究总院
张水鉴	中金岭南有色金属股份有限公司
张学信	信发集团有限公司
宋作文	南山集团有限公司
雷 毅	云南锡业集团有限公司
黄晓平	陕西有色金属控股集团有限公司
王京彬	有色金属矿产地质调查中心
尚福山	中国有色金属工业协会
文献军	中国有色金属工业协会

**委员(以姓氏笔划排序)：**

马世光	中国有色金属工业协会加工工业分会
马宝平	中国有色金属工业协会铝业分会
王再云	中铝山东分公司
王吉位	中国有色金属工业协会再生金属分会
王华俊	中国有色金属工业协会
王向东	中国有色金属工业协会钛锆铅分会
王树琪	中条山有色金属集团有限公司

王海东	中南大学出版社
乐维宁	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
许 健	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘良先	中国钨业协会
刘柏禄	赣州有色冶金研究所
刘继军	荏平华信铝业有限公司
李 宁	兰州铝业股份有限公司
李凤轶	西南铝业(集团)有限责任公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
杨 超	云南铜业(集团)有限公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈铭	中国有色金属工业协会镁业分会
邱冠周	中南大学
冷正旭	中铝山西分公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
张 麟	大冶有色金属有限公司
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
武建强	中铝广西分公司
周 江	东北轻合金有限责任公司
赵 波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
胡长平	中国有色金属工业协会
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
胥 力	遵义钛厂
黄 河	中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司



中国有色金属丛书

**CNMS**

**学术委员会**

**主任：**

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

**常务副主任：**

黄伯云 院士 中南大学

**副主任(按姓氏笔划排序)：**

于润沧	院士	中国有色工程有限公司
古德生	院士	中南大学
左铁镛	院士	北京工业大学
刘业翔	院士	中南大学
孙传尧	院士	北京矿冶研究院
李东英	院士	北京有色金属研究总院
邱定蕃	院士	北京矿冶研究院
何季麟	院士	宁夏东方有色金属集团有限公司
何继善	院士	中南大学
汪旭光	院士	北京矿冶研究院
张文海	院士	南昌有色冶金设计研究院
张国成	院士	北京有色金属研究总院
陈景	院士	昆明贵金属研究所
金展鹏	院士	中南大学
周廉	院士	西北有色金属研究院
钟掘	院士	中南大学
黄培云	院士	中南大学
曾苏民	院士	西南铝加工厂
戴永年	院士	昆明理工大学

**委员(按姓氏笔划排序)：**

卜长海	厦门厦顺铝箔有限公司
于家华	遵义钛厂
马保平	金堆城钼业集团有限公司
王辉	株洲冶炼集团有限责任公司
王斌	洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑莆	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限责任公司
戴云俊	锡矿山闪星锡业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

# 总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业



已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院所数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

A stylized, calligraphic signature in black ink, consisting of two large characters: '康' (Kang) and '芮' (Rui).

2009年3月

# 前 言

---

中国铝挤压工业在20世纪80年代得到了快速发展,进入21世纪,中国已成为全球最大的铝挤压材生产国及净出口国。2006年中国铝挤压材产量达到402万t,其中管材的产量达到11万t,成为世界最主要的铝加工生产基地。

铝及铝合金管材因生产工艺不同,可分为有缝管和无缝管。有缝管是采用分流组合模或桥式组合模,挤压时用实心铸锭经分流桥将金属分成2~4股,之后金属流进焊合室内,在高温高压下,使金属焊合而生产出挤压管材。金属在焊合时受到挤压力、挤压温度及金属表面状况等多种因素的作用,对管材的焊合品质造成一定影响,降低了管材的整体性能。无缝管是采用穿孔针挤压的方式,使用空心铸锭或实心铸锭。穿孔针在穿孔力的作用下,穿入铸锭中心,与挤压模之间形成环形空间,金属从环形空间流出而形成挤压管材。由于挤压过程中金属始终为一整体,没有焊合线,提高了管材的整体性,有利于挤压管材进一步冷加工生产。铝及铝合金无缝挤压管最大的特点是采用穿孔针挤压,由于空心铸锭生产难度较大,特别是裂纹倾向大的含合金元素多的合金,空心铸锭难以生产。同时受到穿孔针直径及强度限制,以及设备能力与精度等各种因素的影响,给管材的生产带来了一系列困难。

随着国家降本减耗等一系列政策的出台,对管材的要求越来越高,100 MN、125 MN等大挤压力的双动挤压机相继投入使用,其生产工艺不断优化。本书为中国有色金属工业协会组织编写《中国有色金属丛书》之一种。作者根据多年来技术开发与研制,在生产经验的积累和总结的基础上,参阅、整理大量最新技术文献和资料,编写成本书,期望能成为铝加工企业的生产技术工人、工程技术人员、研究人员和高校师生有用的参考书。

本书共分9章,第1章为铝合金无缝管的特性、分类、工艺流程及工艺特点等(曹秀萍编写);第2章为铝及铝合金管材挤压技术与工艺(曹秀萍编写);第3章为铝及铝合金管材轧制技术及工艺(曹秀萍编写);第4章为铝及铝合金管材拉伸技术与工艺(魏长传编写);第5章为铝及铝合金管材精整与矫直(魏长传编

写);第6章为铝及铝合金管材热处理(魏长传编写);第7章为工模具设计与制造(魏长传编写);第8章为铝及铝合金管材加工设备(石建业编写);第9章铝及铝合金管材缺陷产生原因及预防措施(魏长传编写);第10章为安全生产与环境保护(魏长传编写)。

在编写本书过程中引用了国内外专家学者和工程技术人员许多宝贵的资料和技术成果,所引用之处均以参考文献明示;除此之外,还得到了中国铝业公司、中南大学、西北铝加工分公司相关人员的大力支持,在此向他(她)们表示深深的谢意。

由于作者的学识和经验有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

**编 者**  
**2009年8月**

## 目 录



<b>第 1 章 铝及铝合金管材</b>	<b>1</b>
1.1 概述	1
1.2 管材的品种、分类及用途	4
1.2.1 管材的品种、分类	4
1.2.2 管材的规格及表示方法	5
1.2.3 铝锭品质要求	5
1.3 管材的生产方法与工艺流程	6
1.3.1 管材的生产方法	6
1.3.2 管材的主要生产工艺流程	7
1.4 管材生产的工艺特点	10
<b>第 2 章 铝及铝合金管材挤压</b>	<b>11</b>
2.1 管材挤压方法	11
2.1.1 正向挤压法	11
2.1.2 反向挤压法	15
2.1.3 其他挤压法	17
2.2 管材挤压时金属变形特点和力学条件	18
2.2.1 挤压时金属变形的应力与应变	18
2.2.2 挤压时金属变形阶段的划分	19
2.2.3 挤压时各阶段金属变形的特点	19
2.2.4 影响金属流动的主要因素	22
2.3 挤压制品的组织 and 性能	22
2.3.1 挤压制品的组织	22
2.3.2 粗晶环	23
2.3.3 缩尾	24
2.3.4 挤压制品的力学性能	25
2.3.5 挤压效应	25
2.3.6 挤压残料	26
2.4 挤压参数的计算	26

2.4.1	挤压力的计算	27
2.4.2	挤压系数计算	31
2.4.3	填充系数计算	31
2.4.4	比压的计算	31
2.4.5	挤压速度计算	32
2.5	管材挤压工艺	32
2.5.1	挤压方法与设备的选择	33
2.5.2	挤压工艺参数的确定	34
2.5.3	挤压用锭坯的选择	41
2.5.4	挤压时的工艺润滑	44
2.6	挤压操作	47
2.6.1	挤压工模具的加热	47
2.6.2	铸锭的加热	48
2.6.3	挤压管材的操作	48
2.7	挤压管材的品质控制	49
2.7.1	挤压管材的尺寸偏差	49
2.7.2	二次挤压中间毛料尺寸偏差及表面品质	52
2.7.3	挤压管毛料尺寸偏差及表面品质	52
2.7.4	检验量具的精度与使用	55
<b>第3章</b>	<b>铝及铝合金管材轧制</b>	<b>57</b>
3.1	管材轧制方法	57
3.1.1	二辊冷轧管法	57
3.1.2	多辊式冷轧管法	59
3.2	冷轧时金属的变形与应力	60
3.2.1	轧制过程中的金属变形	60
3.2.2	冷轧管的应力状态	63
3.3	轧制力及其计算	65
3.3.1	二辊式冷轧管轧制力及其计算	65
3.3.2	二辊式轧管时的轴向力及其计算	69
3.3.3	多辊轧机轧制力的计算	72
3.4	铝及铝合金管材冷轧工艺	72
3.4.1	轧制管坯的选择及准备	72
3.4.2	冷轧管机的操作及品质控制	78
3.4.3	冷轧管工艺	80

3.5 冷轧管材的主要缺陷	96
3.5.1 裂纹、裂口	96
3.5.2 飞边	97
3.5.3 壁厚不均	98
3.5.4 金属压入或压坑	99
3.5.5 轧制圆环	99
3.5.6 管材椭圆	100
3.5.7 管材表面划伤	100
<b>第4章 铝及铝合金管材拉伸</b>	<b>101</b>
4.1 概述	101
4.2 管材拉伸方法及特点	102
4.2.1 无芯头拉伸	102
4.2.2 短芯头拉伸	104
4.2.3 游动芯头拉伸	104
4.2.4 长芯头拉伸	105
4.2.5 扩径	106
4.3 管材拉伸时的变形与应力	106
4.3.1 管材拉伸时的主应力和主变形	106
4.3.2 管材拉伸力的计算	109
4.3.3 影响拉伸力的主要因素	112
4.4 管材拉伸工艺	112
4.4.1 拉伸变形参数及其相互关系	112
4.4.2 拉伸工艺制定	113
4.5 拉伸管材的品质控制	125
4.5.1 管材毛坯品质控制	125
4.5.2 拉伸后的品质控制	129
<b>第5章 铝合金管材精整与矫直</b>	<b>135</b>
5.1 概述	135
5.2 双曲线多辊式矫直	135
5.2.1 矫直原理	135
5.2.2 辊数配置与摆放方式	136
5.2.3 管材直径与矫直辊倾斜角	137
5.2.4 矫直速度	137
5.3 张力矫直	138

5.4	型辊矫直	139
5.5	扭拧矫直	139
5.6	管材矫直品质控制	139
5.6.1	管材矫直工艺要求	139
5.6.2	管材矫直品质控制	140
<b>第6章</b>	<b>铝及铝合金热处理</b>	<b>143</b>
6.1	退火	143
6.1.1	回复	144
6.1.2	再结晶	144
6.1.3	退火工艺制定	151
6.2	淬火	153
6.2.1	淬火基本概念	154
6.2.2	合金淬火后性能的变化	154
6.2.3	铝合金淬火工艺制定原则	155
6.2.4	铝合金管材淬火工艺要求	158
6.2.5	铝合金管材淬火工艺制度	158
6.3	时效	159
6.3.1	铝合金时效过程	159
6.3.2	脱溶序列	160
6.3.3	影响时效过程的因素	162
6.3.4	铝合金时效工艺制定原则	163
6.3.5	铝合金管材时效工艺制度	165
6.4	回归处理	166
<b>第7章</b>	<b>工模具设计与制造</b>	<b>168</b>
7.1	概述	168
7.2	挤压工模具设计	168
7.2.1	挤压工模具	168
7.2.2	挤压筒的设计	173
7.2.3	挤压轴的设计	177
7.2.4	穿孔系统的设计	179
7.2.5	挤压模子设计	181
7.2.6	挤压垫设计	183
7.2.7	其他工具设计	183
7.2.8	工模具的标准化和系列化	184

7.3 轧制工具设计	184
7.3.1 二辊式冷轧管机孔型设计	185
7.3.2 多辊式冷轧管机孔型设计	190
7.4 拉伸工模具设计	195
7.4.1 拉伸模	196
7.4.2 整径模	197
7.4.3 芯头	198
7.4.4 矩形波导管拉伸模	200
7.4.5 矩形管拉伸模	202
7.5 模具管理	202
7.5.1 气体软氮化处理	203
7.5.2 其他氮化工艺	205
7.5.3 提高模具寿命的主要途径	206
<b>第8章 铝及铝合金管材加工设备</b>	<b>209</b>
8.1 挤压设备	209
8.1.1 概述	209
8.1.2 挤压机的分类及应用	210
8.1.3 挤压机的先进技术和装备	211
8.1.4 正向挤压机	212
8.1.5 反向挤压机	217
8.1.6 冷挤压机	220
8.1.7 挤压机配套设备	220
8.2 轧管设备	225
8.2.1 热轧管机	225
8.2.2 冷轧管机	227
8.2.3 冷轧管机的发展	236
8.3 管材拉制设备	236
8.3.1 拉制设备的分类及应用	236
8.3.2 链式拉伸机	237
8.3.3 圆盘拉伸机	239
8.3.4 液压拉伸机	242
8.4 管材精整设备	243
8.4.1 矫直设备	243
8.4.2 锯切设备	249



<b>第9章 铝及铝合金管材缺陷产生原因及预防措施</b>	<b>252</b>
9.1 管材挤压缺陷产生原因及预防措施	252
9.2 管材轧制缺陷产生的原因及预防措施	255
9.3 管材拉伸缺陷产生的原因及预防措施	257
9.4 管材其他缺陷产生的原因及预防措施	258
<b>第10章 安全生产与环境保护</b>	<b>260</b>
10.1 概述	260
10.1.1 大气污染物排放	260
10.1.2 工业炉窑气体污染物排放	261
10.1.3 噪音	263
10.2 主要污染源及其危害	265
10.3 综合治理	267
10.3.1 工业废气治理措施	267
10.3.2 工业废水治理措施	267
10.3.3 工业噪音治理措施	268
10.4 安全生产	268
10.4.1 挤压工序	268
10.4.2 加热炉	268
10.4.3 冷加工工序	269
10.4.4 蚀洗工序	270
10.4.5 物料周转与贮存	270
<b>参考文献</b>	<b>271</b>