



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

轻有色金属及其合金 板带箔材生产

QINGYOUSE JINSHU JIQI HEJIN BANDAI BOCAI SHENGCHAN

刘 阳 等编著

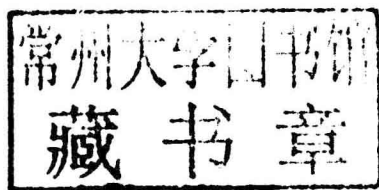


冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

轻有色金属及其合金 板带箔材生产

刘 阳 等编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2013

内 容 简 介

本书是有色金属行业职业教育培训规划教材之一,是根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的,并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本书详细介绍了轻有色金属及其合金板、带、箔材生产工艺、技术和设备。全书共分10章,包括概述、轧制设备、轧制基础理论、热轧、冷轧、热处理、板带材精整、中厚板生产、铝箔生产、产品的检验及包装。在内容组织及结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轻有色金属及其合金板带箔材生产/刘阳等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 4

有色金属行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-6128-7

I. ①轻… II. ①刘… III. ①轻有色金属合金—金属板—
生产工艺—职业教育—教材 ②轻有色金属合金—金属带—
生产工艺—职业教育—教材 ③轻有色金属合金—金属箔—
生产工艺—职业教育—教材 IV. ①TG146. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 016858 号

出 版 人 谭学余

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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 王雪涛 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6128-7

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2013 年 4 月第 1 版, 2013 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 432 千字; 245 页

45.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

有色金属行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

- 主 任** 丁学全 中国有色金属工业协会党委副书记、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会理事长、全国有色金属职业教育教学指导委员会主任
- 谭学余 冶金工业出版社社长
- 副 主 任** 丁跃华 有色金属工业人才中心总经理、有色金属行业职业技能鉴定指导中心主任、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会副理事长兼秘书长
- 鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长
- 任静波 冶金工业出版社总编辑
- 杨焕文 中国有色金属学会副秘书长
- 赵东海 洛阳铜加工集团有限责任公司董事长、党委书记
- 洪 伟 青海投资集团有限公司董事长、党委书记
- 贺怀钦 河南中孚实业股份有限公司董事长
- 张 平 江苏常铝铝业股份有限公司董事长
- 王力华 中铝河南铝业公司总经理、党委书记
- 李宏磊 中铝洛阳铜业有限公司副总经理
- 王志军 洛阳龙鼎铝业有限公司常务副总经理
- 秘 书 长** 杨伟宏 洛阳有色金属工业学校校长(0379-64949030, yangwh0139@126.com)

副秘书长 张登科 冶金工业出版社编审(010-64062877, zhdengke@sina.com)

委 员 (按姓氏笔画排序)

王进良 中孚实业高精铝深加工分公司
王 洪 中铝稀有稀土有限公司
王 辉 株洲冶炼集团股份有限公司
李巧云 洛阳有色金属工业学校
李 贵 河南豫光金铅股份有限公司
闫保强 洛阳有色金属工业设计研究院
刘静安 中铝西南铝业(集团)有限责任公司
陆 芸 江苏常铝铝业股份有限公司
张安乐 洛阳龙鼎铝业有限公司
张星翔 中孚实业高精铝深加工分公司
张鸿烈 白银有色金属公司西北铅锌厂
但渭林 江西理工大学南昌分院
武红林 中铝东北轻合金有限责任公司
郭天立 中冶葫芦岛有色金属集团公司
党建锋 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
董运华 洛阳有色金属加工设计研究院
雷 霆 云南冶金高等专科学校

序

有色金属工业是国民经济重要的基础原材料产业和技术进步的先导产业。改革开放以来，我国有色金属工业取得了快速发展，十种常用有色金属产销量已经连续多年位居世界第一，产品品种不断增加，产业结构趋于合理，装备水平不断提高，技术进步步伐加快，时至今日，我国已经成为名符其实的有色金属大国。

“十二五”期间，是我国由有色金属大国向强国转变的重要时期，要成为有色金属强国，根本靠科技，基础在教育，关键在人才，有色金属行业必须建立一支规模宏大、结构合理、素质优良、业务精湛的人才队伍，尤其是要建立一支高水平的技能型人才队伍。

建立技能型人才队伍既是有色金属工业科学发展的迫切需要，也是建设国家现代职业教育体系的重要任务。首先，技能型人才和经营管理人才、专业技术人才一样，同是企业人才队伍中不可或缺的重要组成部分，在企业生产过程中，装备要靠技能型人才去掌握，工艺要靠技能型人才去实现，产品要靠技能型人才去完成，技能型人才是企业生产力的实现者。其次，我国有色金属行业与世界先进水平相比还有一定差距，要弥补差距，赶超世界先进水平靠的是人才，而现在最缺乏的就是高技能型人才。再次，随着对实体经济重要性认识的不断深化，有色金属工业对技能型人才的重视程度和需求也在不断提高。

人才要靠培养，培养需要教材。有色金属工业人才中心和洛阳

有色金属工业学校为了落实中国有色金属工业协会和教育部颁发的《关于提高职业教育支撑有色金属工业发展能力的指导意见》精神，为了适应行业技能型人才培养的需要，与冶金工业出版社合作，组织编写了这套面向企业和职业技术学院的培训教材。这套教材的显著特点就是体现了基本理论知识和基本技能训练的“双基”培养目标，侧重于联系企业生产实际，解决现实生产问题，是一套面向中级技术工人和职业技术学院学生实用的中级教材。

该教材的推广和应用，将对发展行业职业教育，建设行业技能人才队伍，推动有色金属工业的科学发展起到积极的作用。

中国有色金属工业协会会长

陈全训

2013 年 2 月

前 言

节能降耗、改善环境已成为人类生活与社会持续发展的必要条件,人们正努力开辟新途径,寻求新的发展方向和有效的发展模式。轻量化显然是有效的发展途径之一,铝、镁、钛是轻量化必选金属材料。轻有色金属板、带、箔生产,是以金属材料及热处理、有色金属压力加工原理、轻有色金属熔炼与铸造等为基础,结合一系列的现代化技术装备、先进的生产工艺以及科学的管理知识,形成了完整的、专业化的生产系统,在金属加工工业占有重要的地位。

本书是按照人力资源和社会保障部的规划,参照行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的。书稿经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐作为有色金属行业职业教育培训规划教材。

本书详细介绍了轻有色金属及其合金板、带、箔材的生产工艺、技术和设备。全书共分10章,包括概述、轧制设备、轧制基础理论、热轧、冷轧、热处理、板带材精整、中厚板生产、铝箔生产、产品的检验及包装。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时也可供有关的工程技术人员参考。

本书第1、2、4~10章由刘阳编写,第3章由申智华编写。本书由广东有色金属加工技术委员会主席王自焄、中铝洛铜高精度电子铜带厂厂长李向宇、

中铝河南铝箔厂厂长李斌主持审稿，在编写过程中得到了洛阳有色金属工业学校领导杨伟宏以及李巧云、姚晓燕、白素琴、谭劲峰、马宝平等同志的热情帮助和指导，张华乐同志主要参与了本书的图片处理，在此一并表示衷心的感谢。

另外，本书参考了一些相关的手册或文献资料，对其作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限，编写经验不足，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2012年12月

目 录

1 概述	1
1.1 轻有色金属及其合金生产技术的发展	1
1.1.1 种类和主要成分	1
1.1.2 生产技术的发展	3
1.2 轻有色金属及其合金的分类、产品状态、品种及规格	7
1.2.1 分类	7
1.2.2 产品状态	35
1.2.3 品种及规格	39
1.3 轻有色金属及其合金生产工艺流程	40
1.3.1 板、带材生产工艺流程	40
1.3.2 铝箔生产工艺流程	42
复习思考题	42
2 轧制设备	43
2.1 热轧设备	44
2.1.1 锭坯的加热设备	44
2.1.2 热轧机类型及特点	45
2.1.3 热轧机的基本组成	51
2.1.4 现代热轧机	52
2.1.5 热轧机的安全操作	54
2.2 冷轧设备	55
2.2.1 冷轧机的组成	55
2.2.2 冷轧机的种类	55
2.2.3 现代化冷轧机的组成	57
2.2.4 现代化技术在冷轧机上的应用	58
2.2.5 冷轧机的安全操作	59
2.3 铝箔轧机	60
2.3.1 铝箔轧机分类	60
2.3.2 几种典型的铝箔轧机技术性能	61
2.3.3 铝箔轧机的结构组成和现代化技术的应用	63
复习思考题	65
3 轧制基础理论	66
3.1 简单轧制过程及变形参数	66

3.1.1 简单轧制过程	66
3.1.2 变形程度指数	66
3.1.3 加工率计算	67
3.2 变形区及其参数	68
3.2.1 变形区	68
3.2.2 变形区的主要参数	68
3.3 轧制过程建立的条件	69
3.3.1 轧制过程的三阶段	69
3.3.2 咬入阶段的咬入条件	70
3.3.3 稳定轧制阶段的咬入条件	71
3.4 改善咬入的措施	72
3.4.1 影响咬入的因素	72
3.4.2 改善咬入的措施	73
3.5 轧制时轧件的高向变形	74
3.5.1 轧件在轧制时高向流动特征	74
3.5.2 薄轧件 ($l/\bar{h} > 0.5 \sim 1.0$) 的高向变形	75
3.5.3 厚轧件 ($l/\bar{h} < 0.5 \sim 1.0$) 的高向变形	77
3.6 轧制时轧件的横向变形	79
3.6.1 宽展及其实际意义	79
3.6.2 宽展分类与组成	79
3.6.3 影响宽展的因素	80
3.6.4 计算宽展的公式	82
3.7 轧制时轧件的纵向变形	82
3.7.1 轧制过程中的前滑和后滑现象	82
3.7.2 前滑的理论计算	83
3.7.3 影响前滑的因素	84
3.7.4 研究前滑的意义	85
3.8 单位压力与轧制力简介	85
3.8.1 咬入弧上单位压力的分布	86
3.8.2 轧制力的确定	87
3.9 轧制的弹塑曲线及板厚纵向控制	88
3.9.1 轧机的弹性变形	88
3.9.2 轧件的塑性特性曲线	89
3.9.3 轧制过程的弹塑曲线	90
3.9.4 板厚控制原理及方法	90
3.10 轧制时的外摩擦系数	92
3.10.1 摩擦系数在轧制过程中的实际意义	92
3.10.2 不同轧制和润滑条件下的摩擦系数	92
3.10.3 摩擦系数与轧制速度的关系	93

复习思考题	93
4 热轧	95
4.1 热轧的特点	95
4.1.1 概念	95
4.1.2 特点	95
4.2 热轧工艺要求	95
4.2.1 铸锭的选择	95
4.2.2 热轧前的准备	96
4.2.3 铸锭的加热	99
4.2.4 轧制工艺	103
4.2.5 热轧的冷却和润滑	118
4.2.6 热轧产品的质量控制	121
复习思考题	124
5 冷轧	125
5.1 冷轧的特点	125
5.1.1 概念	125
5.1.2 特点	125
5.2 冷轧制度的确定	125
5.2.1 冷轧总加工率的确定	125
5.2.2 冷轧道次加工率的分配	126
5.2.3 张力的作用及确定	127
5.2.4 冷轧速度	128
5.2.5 冷轧的冷却与润滑	128
5.3 冷轧的辊型及控制	133
5.3.1 辊型的选择和磨辊	133
5.3.2 辊型的配置及控制	134
5.4 板带的测厚及自动控制	134
5.4.1 板带的测厚	134
5.4.2 板带厚度的自动控制	135
5.5 冷轧的板形控制	138
5.5.1 板形的概念及表示方法	138
5.5.2 影响板形的主要因素	140
5.5.3 板形的控制和检测	143
5.5.4 几种常用的板形控制系统	151
5.6 冷轧生产的质量控制	152
5.6.1 冷轧产品的主要表面质量缺陷及产生原因	152
5.6.2 冷轧产品的主要尺寸精度、形状缺陷及产生原因	155

5.6.3 冷轧产品的主要组织与性能缺陷及产生原因	155
复习思考题	156
6 热处理	157
6.1 热处理的目的和方式	157
6.1.1 目的	157
6.1.2 方式	157
6.2 板带材热处理工艺及设备	158
6.2.1 退火工艺及设备	158
6.2.2 淬火工艺及设备	170
6.2.3 时效工艺及设备	174
6.3 镁合金热处理安全技术	176
6.4 板带材热处理过程的质量控制	176
复习思考题	177
7 板带材精整	178
7.1 精整的概念	178
7.2 剪切工艺及设备	178
7.2.1 纵切工艺及设备	178
7.2.2 横切工艺及设备	182
7.2.3 锯切工艺及设备	184
7.3 矫直工艺及设备	186
7.3.1 辊式矫直工艺及设备	186
7.3.2 拉伸矫直工艺及设备	190
7.3.3 张力矫直工艺	191
7.3.4 拉伸弯曲矫直工艺及设备	191
7.4 清洗工艺及设备	193
7.4.1 铝板带清洗原理及理论	193
7.4.2 清洗工艺	194
7.4.3 清洗设备	195
7.5 板带材精整过程的质量控制	195
7.5.1 表面质量缺陷及产生原因	195
7.5.2 尺寸精度、形状缺陷及产生原因	196
复习思考题	196
8 中厚板生产	197
8.1 中厚板的定义及应用	197
8.1.1 定义	197
8.1.2 应用	197

8.2 中厚板生产工艺流程	198
8.2.1 铝合金中厚板的拉伸	199
8.2.2 中厚板的酸洗	201
8.3 中厚板生产过程的质量控制	202
复习思考题	202
9 铝箔生产	203
9.1 铝箔的定义及品种	203
9.1.1 定义	203
9.1.2 品种	203
9.2 铝箔的主要性能	204
9.2.1 导电导热性能	204
9.2.2 防潮性能	204
9.2.3 隔热和对光的反射性能	205
9.2.4 力学性能	205
9.3 铝箔生产工艺	207
9.3.1 铝箔坯料	208
9.3.2 铝箔生产工艺流程	209
9.3.3 铝箔轧制工艺参数的确定	210
9.3.4 铝箔的工艺润滑	221
9.3.5 铝箔的双合与分卷	227
9.3.6 铝箔的成品退火	230
9.4 铝箔生产过程的质量控制	232
复习思考题	236
10 产品的检验及包装	237
10.1 产品质量检验	237
10.1.1 产品质量检验的主要指标	237
10.1.2 产品质量检验主要工具及设备	237
10.2 产品的包装	238
10.2.1 常用包装材料	238
10.2.2 包装标志	241
10.2.3 包装方法	242
复习思考题	244
参考文献	245

1 概 述

轻有色金属是指密度小于 4500kg/m^3 的有色金属，如铝、镁、钛等金属及其合金等，轻有色金属以密度小、比强度与比模量高的特性而在运载火箭、卫星、飞机、汽车、船舶上获得广泛应用，是制造其中许多结构件和零、部件的主要材料。这些轻有色金属可通过压力加工的方法，制成各种各样的加工材，其中最具代表性、应用最广泛的是铝及铝合金加工材。铝及铝合金板、带、箔材是加工材的重要品种。

1.1 轻有色金属及其合金生产技术发展

1.1.1 种类和主要成分

用于轻有色金属及其合金板、带、箔材生产的金属材料大多是铝及铝合金、镁及镁合金、钛及钛合金，它们的常用牌号和主要化学成分分列于表 1-1 ~ 表 1-3 中。

表 1-1 常用铝及铝合金的牌号和化学成分

系 列	牌 号	主要成分/%
1 × × ×	1A97	Al 不小于 99.97
	1070	Al 不小于 99.7
	1060	Al 不小于 99.6
	1050	Al 不小于 99.5
	1145	Al 不小于 99.45
	1035	Al 不小于 99.35
	1100	Al 不小于 99.00
2 × × ×	2A01	Cu 2.2 ~ 3.0, Mg 0.20 ~ 0.50, Al 余量
	2A02	Cu 2.6 ~ 3.2, Mn 0.45 ~ 0.70, Mg 2.0 ~ 2.4, Al 余量
	2A11	Cu 3.8 ~ 4.8, Mn 0.4 ~ 0.8, Mg 0.40 ~ 0.80, Al 余量
	2A12	Cu 3.8 ~ 4.9, Mn 0.3 ~ 0.9, Mg 1.20 ~ 1.8, Al 余量
	2014	Cu 3.9 ~ 5.0, Mn 0.4 ~ 1.2, Mg 0.20 ~ 0.80, Si 0.5 ~ 1.2, Al 余量
	2024	Cu 3.8 ~ 4.9, Mn 0.3 ~ 0.9, Mg 1.20 ~ 1.8, Al 余量
3 × × ×	3A21	Mn 1.0 ~ 1.6, Al 余量
	3003	Mn 1.0 ~ 1.5, Cu 0.05 ~ 0.20, Al 余量
	3004	Mn 1.0 ~ 1.5, Mg 0.8 ~ 1.3, Al 余量
	3005	Mn 1.0 ~ 1.5, Mg 0.2 ~ 0.6, Al 余量
4 × × ×	4043	Si 4.5 ~ 6.0, Al 余量
	4004	Si 9.0 ~ 10.5, Mg 1.0 ~ 2.0, Al 余量
	4007	Si 11.0 ~ 13.0, Al 余量

续表 1-1

系 列	牌 号	主要成分/%
5 × × ×	5A02	Mn 0.15 ~ 0.4, Mg 2.0 ~ 2.8, Al 余量
	5A03	Mn 0.3 ~ 0.6, Mg 3.2 ~ 3.8, Si 0.5 ~ 0.8, Al 余量
	5A05	Mn 0.3 ~ 0.6, Mg 4.8 ~ 5.5, Al 余量
	5A06	Mn 0.5 ~ 0.8, Mg 5.8 ~ 6.8, Al 余量
	5052	Cr 0.15 ~ 0.35, Mg 2.2 ~ 2.8, Al 余量
	5154	Cr 0.15 ~ 0.35, Mg 2.2 ~ 2.8, Al 余量
	5754	Mg 2.6 ~ 3.6, Al 余量
	5083	Mn 0.5 ~ 1.0, Mg 4.0 ~ 4.9, Cr 0.05 ~ 0.25, Al 余量
	5086	Mn 0.2 ~ 0.7, Mg 3.5 ~ 4.5, Cr 0.05 ~ 0.25, Al 余量
6 × × ×	6A02	Mn 或 Cr 0.15 ~ 0.35, Mg 0.45 ~ 0.9, Si 0.5 ~ 1.2, Cu 0.2 ~ 0.6, Al 余量
	6061	Cr 0.04 ~ 0.35, Mg 0.8 ~ 1.2, Si 0.4 ~ 0.8, Cu 0.15 ~ 0.4, Al 余量
	6063	Mg 0.45 ~ 0.9, Si 0.2 ~ 0.6, Al 余量
7 × × ×	7A04	Mn 0.2 ~ 0.6, Zn 5.0 ~ 7.0, Mg 1.8 ~ 2.8, Cr 0.1 ~ 0.25, Cu 1.4 ~ 2.0, Al 余量
	7020	Mn 0.05 ~ 0.5, Zn 4.0 ~ 5.0, Mg 1.0 ~ 1.4, Cr 0.1 ~ 0.35, Al 余量
	7075	Zn 5.1 ~ 6.1, Mg 2.1 ~ 2.9, Cr 0.18 ~ 0.28, Cu 1.2 ~ 2.0, Al 余量
8 × × ×	8011	Si 0.5 ~ 0.9, Fe 0.6 ~ 1.0, Al 余量
	8090	Cu 1.0 ~ 1.6, Mg 0.6 ~ 1.3, Li 2.2 ~ 2.7, Zr 0.04 ~ 0.16, Al 余量

表 1-2 常用镁及镁合金牌号和化学成分

系 列	牌 号	主要成分/%
Mg	Mg 99.95	Mg 不小于 99.95
	Mg 99.50	Mg 不小于 99.50
MgAlZn	AZ31B	Al 2.5 ~ 3.5, Zn 0.6 ~ 1.4, Mn 0.2 ~ 1.0, Mg 余量
	AZ40M	Al 3.0 ~ 4.0, Zn 0.2 ~ 0.8, Mn 0.15 ~ 0.5, Mg 余量
	AZ41M	Al 3.7 ~ 4.7, Zn 0.8 ~ 1.4, Mn 0.3 ~ 0.6, Mg 余量
	AZ61M	Al 5.5 ~ 7.0, Zn 0.5 ~ 1.5, Mn 0.15 ~ 0.5, Mg 余量
MgMn	M2M	Mn 1.3 ~ 2.5, Mg 余量
MgMnRE	ME20M	Mn 1.3 ~ 2.2, Ce 0.15 ~ 0.35, Mg 余量
MgZnZr	ZK61M	Zn 5.0 ~ 6.0, Zr 0.3 ~ 0.9, Mg 余量

表 1-3 常用钛及钛合金牌号和化学成分

类 别	牌 号	化学成分/%
α 钛合金	TA6	Ti-5Al
	TA7	Ti-5Al-2.5Sn
β 钛合金	TB2	Ti-5Mo-5V-8Cr-3Al
$\alpha + \beta$ 钛合金	TC4	Ti-6Al-4V
	TC3	Ti-5Al-4V
	TC2	Ti-4Al-1.5Mn

1.1.2 生产技术的发展

1.1.2.1 国外轻有色金属加工技术的发展特点及发展趋势

A 国外铝加工技术的发展特点

国外铝加工技术的发展特点如下:

(1) 工艺装备更新换代快,更新周期一般为 10 年左右。设备向大型化、精密化、紧凑化、成套化、自动化方向发展。

(2) 工艺技术不断推新,向节能降耗、精简连续、高速高效、广谱交叉的方向发展。

(3) 十分重视工具和模具的结构设计、材质选择,不断改进和完善加工工艺、热处理工艺和表面处理工艺,产品质量和寿命得到极大的提高。

(4) 产品结构处于大调整时期。为了适应科技的进步和经济、社会的发展及人们生活水平的提高,很多传统的和低档的产品被淘汰,新型的高档高科技产品不断涌现。

(5) 十分重视科技进步、技术创新和信息开发。随着信息时代和知识经济时代的到来,这对铝加工技术更为重要。

(6) 科学管理全面实现自动化和现代化,体制和机制不断调整,以适应社会发展和市场变化的需要。

B 国外铝加工技术的发展趋势

a 铝合金材料的发展趋向

目前,全世界已正式注册的铝合金达千种以上,分别包含在 $1 \times \times \times \sim 9 \times \times \times$ 系列中,为世界经济的发展和人类的进步做出了巨大贡献。但是,随着科技的进步和人们生活水平的提高,有些合金已被淘汰,急需发展一批高强、高韧、高模、耐磨、耐蚀、耐疲劳、耐高温、耐低温、耐辐射、防火、防爆、易切削、易抛光、可表面处理、可焊接和超轻的新型铝合金,如 $R_m > 780\text{MPa}$ 的高强高韧合金,密度小于 2400kg/m^3 的铝锂合金、粉末冶金和复合材料等。

b 熔铸技术的发展趋向

铸坯的质量直接决定铝材的最终质量。应采用所有的新科技手段提高铝合金铸锭的冶金质量,主要的发展方向是:

(1) 优化铝合金的化学成分、主要元素配比和微量元素的含量,不断提高铝锭的纯度。

(2) 强化和优化铝熔体在线净化处理技术,尽量减少熔体中的气体 (H_2 等) 和夹杂物的含量,如使每 100g 铝中 H_2 含量小于 0.1mL ; 钠离子的质量分数小于 3×10^{-6} 等。

(3) 强化、优化细化处理和变质处理技术,不断改进和完善 Al-Ti-B、Al-Ti-C 等细化工艺,改进变质处理工艺。