



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 熔炼与铸造

QINGYOUSE JINSHU JIQI HEJIN RONGLIAN YU ZHUZAO

谭劲峰 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 熔炼与铸造

谭劲峰 编著



北航

C1643539

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2013

TG292
18

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。

全书共分上下两篇。上篇为铝及铝合金熔炼与铸造,主要内容包括铝及铝合金、熔炼炉、中间合金的制备技术、原材料的管理和使用及其配料计算、铝合金的熔炼、铝合金的熔体净化、铸造工具及设备、铝及铝合金的铸造、铸锭的均匀化与加工、铸锭质量的检验及缺陷分析、铝合金连续铸轧技术、铝合金的连铸连轧技术;下篇为镁及镁合金熔炼与铸造,主要内容包括镁及镁合金、变形镁合金熔铸设备及安全技术与操作、变形镁合金的熔炼、变形镁合金的铸造、镁合金铸锭均匀化退火、镁合金铸锭的质量检查和常见缺陷及防止办法。

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,也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熔炼与铸造/谭劲峰编著. —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 978-7-5024-6204-8

I. ①轻… II. ①谭… III. ①轻有色金属—熔炼—技术培训—教材 ②轻有色金属—铸造—技术培训—教材 ③轻有色金属合金—熔炼—技术培训—教材 ④轻有色金属合金—铸造—技术培训—教材 IV. ①TG292

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 066104 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 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6204-8

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; 19 印张; 506 千字; 284 页

48.00 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

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。

熔炼与铸造是轻金属合金材料制备与加工的第一道工序,也是控制轻金属材料冶金质量的关键工序,而且熔铸缺陷在后续加工中具有遗传性,对产品的终身质量都有影响,因此,提高锭坯的质量对提高产品的质量有着极其重要的意义。

全书共分两篇,上篇为铝及铝合金熔炼与铸造,主要内容包括铝及铝合金、熔炼炉、中间合金的制备技术、原材料的管理和使用及其配料计算、铝合金的熔炼、铝合金的熔体净化、铸造工具及设备、铝及铝合金的铸造、铸锭的均匀化与加工、铸锭质量的检验及缺陷分析、铝合金连续铸轧技术、铝合金的连铸连轧技术;下篇为镁及镁合金熔炼与铸造,主要内容包括镁及镁合金、变形镁合金熔铸设备及安全技术与操作、变形镁合金的熔炼、变形镁合金的铸造、镁合金铸锭均匀化退火、镁合金铸锭的质量检查和常见缺陷及防止办法。

本书重点突出了熔体质量控制(合金化、成分与温度的均匀化、熔体净化、晶粒细化)以及熔铸缺陷产生的原因和解决办法,特别突出的是随着连续铸轧、连铸连轧在铝行业的广泛应用,本书将连续铸轧与连铸连轧独立出两个章节进行了全面详细的介绍。

本书的编写密切结合生产实际,通俗易懂,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附有复习思考题。

本书可作为有色金属企业职工技能教育培训和职业院校相关专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书是在洛阳有色金属工业学校多年使用的内部教材的基础上编写的。本书大部分章节由谭劲峰编写，铸造设备部分由陈长水编写，全书由谭劲峰统稿，杜运时老师负责审核。本书在编写过程中，得到了洛阳有色金属工业学校领导杨伟宏和姚晓燕、李巧云、申智华、白素琴老师以及同事刘阳等的热情支持和帮助，马宝平、董朝克、张华乐、晏京京、蔡中云对书稿的整理做了大量的工作，同时对编写过程中参考的一些相关著作和文献资料的作者，在此一并表示衷心的感谢。

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。

作 者

2013年1月10日

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
有色金属塑性加工原理(有色金属行业职业教育培训规划教材)	18.00
金属学及热处理(有色金属行业职业教育培训规划教材)	32.00
重有色金属及其合金熔炼与铸造(有色金属行业职业教育培训规划教材)	28.00
重有色金属及其合金管棒型线材生产(有色金属行业职业教育培训规划教材)	38.00
轧制工程学(本科教材)	32.00
材料成形工艺学(本科教材)	69.00
加热炉(第3版)(本科教材)	32.00
金属塑性成形力学(本科教材)	26.00
金属压力加工概论(第2版)(本科教材)	29.00
材料成形实验技术(本科教材)	16.00
冶金热工基础(本科教材)	30.00
连续铸钢(本科教材)	30.00
塑性加工金属学(本科教材)	25.00
轧钢机械(第3版)(本科教材)	49.00
机械安装与维护(职业技术学院教材)	22.00
金属压力加工理论基础(职业技术学院教材)	37.00
参数检测与自动控制(职业技术学院教材)	39.00
有色金属压力加工(职业技术学院教材)	33.00
黑色金属压力加工实训(职业技术学院教材)	22.00
铜加工技术实用手册	268.00
铜加工生产技术问答	69.00
铜水(气)管及管接件生产、使用技术	28.00
冷凝管生产技术	29.00
铜及铜合金挤压生产技术	35.00
铜及铜合金熔炼与铸造技术	28.00
铜合金管及不锈钢管	20.00
现代铜盘管生产技术	26.00
高性能铜合金及其加工技术	29.00
铝加工技术实用手册	248.00
铝合金熔铸生产技术问答	49.00
镁合金制备与加工技术	128.00
薄板控制	79.00



北航

C1643539

目 录

上篇 铝及铝合金熔炼与铸造

1 铝及铝合金	1
1.1 概述	1
1.2 铝的一般特性	1
1.3 铝合金的主要分类及牌号命名	3
1.3.1 主要分类	3
1.3.2 合金牌号命名	5
1.4 主要变形铝合金的特性及合金元素在铝合金中的作用	7
1.4.1 1×××系(纯铝)	7
1.4.2 2×××系(铝-铜系合金)	9
1.4.3 3×××系(铝-锰系合金)	12
1.4.4 4×××系(铝-硅系合金)	13
1.4.5 5×××系(铝-镁系合金)	14
1.4.6 6×××系(铝-镁-硅系合金)	15
1.4.7 7×××系(铝-锌系合金)	17
1.5 变形铝合金制品对铸坯的要求	18
1.5.1 对化学成分的要求	19
1.5.2 对冶金质量的要求	19
1.5.3 对铸锭组织的要求	19
1.5.4 对铸锭几何尺寸和表面质量要求	19
1.6 现代铝合金熔铸技术的发展趋势	19
1.6.1 熔铸设备	20
1.6.2 晶粒细化	20
1.6.3 熔体净化和检测	20
1.6.4 铸造技术	22
复习思考题	22
2 熔炼炉	23
2.1 铝合金熔炼炉和静置炉的基本要求	23
2.2 熔炼炉的分类及对炉衬材料的基本要求	23
2.2.1 熔炼炉的分类	23
2.2.2 对熔炼炉炉衬材料的基本要求	24
2.3 火焰反射炉	26

2.3.1 火焰反射炉工作原理	26
2.3.2 火焰式固定矩形熔铝炉	26
2.3.3 火焰式固定圆形熔铝炉	27
2.3.4 倾动式熔铝炉	27
2.3.5 双膛双向熔铝炉	28
2.3.6 竖式熔铝炉	28
2.4 电阻式反射炉	29
2.5 用于反射式熔化炉和静置保温炉的几种装置	30
2.5.1 蓄热式预热装置（蓄热式烧嘴）	30
2.5.2 炉底电磁搅拌装置	31
2.6 电感应炉	31
2.6.1 感应加热原理	31
2.6.2 电感应炉的用途	32
2.6.3 感应熔炼炉类型	32
2.7 铝及铝合金生产线熔炼设备的现状和发展	34
2.7.1 熔炼炉	34
2.7.2 保温（静置）炉	35
复习思考题	36
3 中间合金的制备技术	37
3.1 使用中间合金的目的	37
3.2 对中间合金的要求	37
3.3 常用中间合金成分和性质	38
3.4 中间合金的熔制技术	38
3.4.1 铝-钛	38
3.4.2 铝-镍	39
3.4.3 铝-铬	39
3.4.4 铝-硅	40
3.4.5 铝-铁	40
3.4.6 铝-铜	40
3.4.7 铝-锰	40
3.5 中间合金的熔铸工艺与设备	41
复习思考题	41
4 原材料的管理和使用及其配料计算	42
4.1 纯金属的管理、使用和验收	42
4.2 废料的保管、交付和验收	43
4.3 配料计算	43
4.3.1 炉料选择	44

4.3.2 配料	44
复习思考题	47
5 铝合金的熔炼	48
5.1 概述	48
5.1.1 熔炼目的	48
5.1.2 熔炼特点	48
5.1.3 熔炼方法	49
5.2 熔炼过程中的物理化学作用	50
5.2.1 炉内气氛	50
5.2.2 液态金属与气体的相互作用	50
5.2.3 影响气体含量的因素	54
5.2.4 熔融金属与炉衬的相互作用	55
5.3 熔炼工艺流程及操作工艺	56
5.3.1 熔炼炉的准备	56
5.3.2 熔炼工艺流程和操作	59
5.3.3 熔炼时温度控制和火焰控制	61
5.4 化学成分调整	63
5.4.1 成分调整	63
5.4.2 1×××系铝合金的成分控制	66
5.4.3 2×××系铝合金的成分控制	66
5.4.4 3×××系铝合金的成分控制	66
5.4.5 4×××系铝合金的成分控制	66
5.4.6 5×××系铝合金的成分控制	67
5.4.7 6×××系铝合金的成分控制	67
5.4.8 7×××系铝合金的成分控制	67
5.5 主要铝合金的熔炼特点	67
5.5.1 1×××系铝合金的熔炼	67
5.5.2 2×××系铝合金的熔炼	67
5.5.3 3×××系铝合金的熔炼	67
5.5.4 4×××系铝合金的熔炼	68
5.5.5 5×××系铝合金的熔炼	68
5.5.6 6×××系铝合金的熔炼	69
5.5.7 7×××系铝合金的熔炼	69
5.6 铝合金废料复化	69
5.6.1 废料复化前的预处理	69
5.6.2 废料的复化	69
5.6.3 复化锭的标识、保管和使用	70
复习思考题	70

6 铝合金的熔体净化	71
6.1 概述	71
6.2 铝及铝合金熔体净化原理	71
6.2.1 脱气原理	71
6.2.2 除渣原理	72
6.3 炉内净化处理	74
6.3.1 吸附净化	75
6.3.2 非吸附净化	81
6.4 炉外在线净化处理	82
6.4.1 在线除气	83
6.4.2 熔体过滤	87
6.4.3 除气 + 过滤	89
6.5 熔体净化技术的发展趋势	89
6.5.1 炉内处理的发展趋势	89
6.5.2 炉外在线净化技术的发展	90
复习思考题	91
7 铸造工具及设备	92
7.1 铸造工具的设计与制造	92
7.1.1 铸造工具设计与制造的原则	92
7.1.2 铸造工具的设计	93
7.1.3 铸造工具的制造	101
7.2 铸造机	103
7.2.1 铸造机的用途	103
7.2.2 铸造机的分类	103
7.2.3 直接水冷 (DC) 式铸造机	103
复习思考题	107
8 铝及铝合金的铸造	108
8.1 概述	108
8.1.1 锭模铸造	108
8.1.2 连续及半连续铸造	109
8.2 铸锭的结晶和组织	109
8.2.1 结晶过程的热交换	109
8.2.2 铸锭结晶	110
8.2.3 结晶过程	113
8.2.4 铸锭的典型组织	114
8.2.5 铸锭组织特征	114
8.3 晶粒细化	115

8.3.1 控制过冷度	116
8.3.2 动态晶粒细化	116
8.3.3 变质处理	116
8.4 铸造工艺对铸锭质量的影响	120
8.4.1 冷却速度对铸锭质量的影响	120
8.4.2 铸造速度对铸锭质量的影响	121
8.4.3 铸造温度对铸锭质量的影响	122
8.4.4 结晶器高度对铸锭质量的影响	122
8.5 铸造工艺流程与操作技术	123
8.5.1 工艺流程	123
8.5.2 操作技术	123
8.6 铝及铝合金扁铸锭铸造	126
8.6.1 纵向压延扁铸锭的铸造	126
8.6.2 横向压延扁铸锭的铸造	128
8.7 铝及铝合金圆铸锭铸造	130
8.7.1 圆铸锭铸造的基本操作	130
8.7.2 小直径圆铸锭的铸造工艺特点	131
8.7.3 大直径圆铸锭的铸造工艺特点	131
8.7.4 锻件用铸锭的铸造工艺特点	132
8.7.5 铸造工艺参数	132
8.8 铝及铝合金空心圆铸锭铸造	133
8.8.1 工艺特点	133
8.8.2 铸造与操作工艺	133
8.8.3 铸造工艺参数	134
8.9 铸造技术的发展趋势	135
8.9.1 热顶铸造	135
8.9.2 同水平多模铸造	137
8.9.3 电磁结晶器铸造	137
复习思考题	139
9 铝及铝合金铸锭均匀化与加工	140
9.1 铸锭均匀化退火	140
9.1.1 均匀化退火的目的	140
9.1.2 均匀化退火对铸锭组织与性能的影响	140
9.1.3 均匀化退火温度及时间	140
9.1.4 常见均匀化制度	142
9.1.5 均匀化退火炉	143
9.2 铸锭的机械加工	146
9.2.1 锯切	146

9.2.2 表面加工	149
复习思考题	151
10 铝合金铸锭的质量检验及缺陷分析	152
10.1 常规检查方法	152
10.1.1 圆铸锭的质量检查	152
10.1.2 扁铸锭的质量检查	153
10.2 先进检测方法	153
10.3 铝合金铸锭内部缺陷分析	154
10.3.1 偏析与偏析瘤	154
10.3.2 缩孔	156
10.3.3 疏松与气孔	156
10.3.4 夹杂与氧化膜	159
10.3.5 白亮点	161
10.3.6 白斑	161
10.3.7 光亮晶粒	162
10.3.8 羽毛状晶	163
10.3.9 粗大晶粒	164
10.3.10 晶层分裂	165
10.3.11 粗大金属化合物	166
10.3.12 过烧	168
10.3.13 枞树组织	169
10.4 铝合金表面及外形缺陷分析	170
10.4.1 裂纹	170
10.4.2 冷隔	173
10.4.3 拉裂和拉痕	174
10.4.4 弯曲	174
10.4.5 偏心	175
10.4.6 尺寸不符	175
10.4.7 周期性波纹	175
10.4.8 表面气泡	175
10.5 检测技术的发展	176
复习思考题	177
11 铝合金连续铸轧技术	178
11.1 双辊连续铸轧法的特点和分类	178
11.1.1 双辊连续铸轧法的特点	178
11.1.2 双辊连续铸轧法的分类	179
11.2 连续铸轧的工作原理及主要工艺参数优化	180

11.2.1 连续铸轧的工作原理	180
11.2.2 连续铸轧主要工艺参数优化	183
11.3 连续铸轧主要工艺设备	185
11.3.1 液面控制系统	185
11.3.2 铸轧辊	186
11.3.3 铸轧供料嘴	189
11.3.4 冷却水系统	191
11.3.5 辊面润滑装置	192
11.4 铸轧生产准备与操作技术	193
11.4.1 铸轧生产准备	193
11.4.2 铸轧生产操作技术	194
11.4.3 铸轧停机	196
11.4.4 铸轧板的冶金组织	196
11.4.5 铸轧板质量的控制	196
11.5 铸轧板缺陷	197
11.5.1 铸轧板内部缺陷	197
11.5.2 铸轧板表面及外形缺陷	201
复习思考题	208
12 铝合金连铸连轧技术	209
12.1 概述	209
12.1.1 连铸连轧生产方法简介	209
12.1.2 连铸连轧工艺特点	209
12.1.3 连铸连轧生产方法分类	210
12.2 板带连铸连轧生产方法	210
12.2.1 哈兹莱特双钢带连铸连轧法	210
12.2.2 双履带式劳纳法	214
12.2.3 凯撒微型双钢带连铸连轧方法	215
12.2.4 轮带式带坯连铸连轧法	216
12.3 线坯连铸连轧方法	217
12.3.1 普罗佩斯法连铸连轧机	218
12.3.2 普罗佩斯法连铸连轧机组成	218
12.3.3 普罗佩斯连铸机	219
12.3.4 连轧机	219
复习思考题	220

下篇 镁及镁合金熔炼与铸造

13 镁及镁合金	221
-----------------------	------------