

铸造手册

铸造非铁合金

第2版

中国机械工程学会铸造分会 编

3



机械工业出版社
China Machine Press

铸 造 手 册

第 3 卷

铸 造 非 铁 合 金

(第 2 版)

中国机械工程学会铸造分会 编



机 械 工 业 出 版 社

《铸造手册》共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造 6 卷出版。本书为第 3 卷《铸造非铁合金》。

第 2 版在第 1 版基础上,进行了全面的修订。更新了许多技术标准和工艺规范,完善和补充了新的技术内容,反映了技术发展趋势。本卷共 11 章:绪论介绍了铸造非铁合金的发展简史、前景与展望;基础知识、金属及非金属原材料、熔炼炉各章分别介绍了制备各种非铁合金共同需要的基础知识、原材料和熔炼炉;铸造铝合金、铸造镁合金、铸造钛合金、铸造铜及铜合金、铸造锌合金、铸造轴承合金和铸造高温合金各章分别介绍了各种铸造合金的牌号、化学成分、金相组织、各种性能、应用特点、熔炼与浇注工艺、热处理规范、质量控制及缺陷分析等内容。附录中列出了铸造铝合金、铜合金的国际标准、国外主要国家标准及国内外标准对照。

本手册主要供从事铸造生产的技术人员使用,也可供从事材料研究的科研人员及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造手册·第 3 卷,铸造非铁合金/中国机械工程学会铸造分会编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2001.10

ISBN 7-111-03202-0

I. 铸... II. 中... III. ①铸造-技术手册②轻金属合金-铸造-技术手册 N. TG24-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 067115 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·22.25 印张·3 插页·1336 千字

19 351—23 350 册

定价:62.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

铸造手册第2版编委会

顾问 陶令桓 周尧和
主任委员 赵立信
副主任委员 房贵如
委员 (按姓氏笔画为序)
王君卿 刘兆邦 刘伯操
张伯明 余茂祚(常务)
范英俊 钟雪友 姚正耀
黄天佑

铸造非铁合金卷第2版编委会

主编 刘伯操
副主编 郎业方 杨长贺
编委 王红红 刘金水 程和法
徐玉松 陈荣章
主审 翟春泉

第 2 版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过千万吨,位居世界第二;从业人员超过百万人,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于 1991 年编辑出版了《铸造手册》,共 6 卷 610 万字。第 1 版手册自出版发行以来,先后分别重印 3~6 次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授等许多著名专家学者都对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的经济效益及社会效益。手册 1995 年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996 年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998 年获机械工业部科技进步二等奖。

第 1 版手册出版后的近十年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生很大变化,手册内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了修订。第 2 版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第 1 版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共 6 卷组成。为我国进入 WTO,与世界铸造技术接轨,并全面反映当代铸造技术水平,第 2 版除对第 1 版已显陈旧落后的内容应进行删改外,着重增加了近十几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用新的计量单位,修改内容累计达 40% 以上。第 2 版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反应了 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进 21 世纪我国铸造技术进步将发挥积极作用。

第 2 版手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校 40 多个单位的 109 名专家教授参加编写。各卷主编是:

- 第 1 卷 铸铁 中国农业机械化研究院副院长张伯明研究员。
- 第 2 卷 铸钢 中国第二重型机械集团公司总裁姚正耀研究员级高工。
- 第 3 卷 铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长刘伯操研究员。
- 第 4 卷 造型材料 清华大学黄天佑教授。
- 第 5 卷 铸造工艺 沈阳铸造研究所总工程师王君卿研究员。
- 第 6 卷 特种铸造 中国新兴铸管集团公司董事长范英俊研究员级高工。

本书为《铸造手册》的第3卷《铸造非铁合金》，编写组织工作得到北京航空材料研究院的大力支持，并在该卷编委会的主持下，经过许多同志辛勤劳动完成的。在主编刘伯操研究员全面负责的基础上，由副主编郎业方研究员、杨长贺教授主持编写工作，并与各编委共同进行各章的审定工作。各章编写分工如下：

第1章、第2章 大连理工大学：杨长贺教授。

第3章 北京航空材料研究院：王英杰工程师、戴圣龙研究员、刘伯操研究员。

第4章 北京航空材料研究院：赵志远研究员。

第5章 北京航空材料研究院：薛志庠研究员、周彦邦研究员、王红红研究员。

第6章 华东船舶工程学院：徐玉松副教授（原洛阳船舶材料研究所）。

第7章 湖南大学：刘金水教授。

第8章 合肥工业大学：程和法副教授、陈翌庆副教授。

第9章 北京航空材料研究院：陈荣章研究员。

第10章 北京航空材料研究院：罗太平高工。

第11章 北京航空材料研究院：郎业方研究员。

附录 北京航空材料研究院：袁成祺高工。

本书统稿工作由陈荣章研究员、郎业方研究员协助责任编辑余茂祚研究员级高工共同完成。主审为上海交通大学翟春泉教授。

本书在编写过程中得到北京航空材料研究院、大连理工大学、华东船舶工程学院、洛阳船舶材料研究所、湖南大学、合肥工业大学、上海交通大学等单位的大力支持，还得到了浙江永康华洋机械有限公司董事长楼海淮和北京航空材料研究院贾泮江工程师、余应梅高工的支持和帮助，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会编译出版工作委员会

铸造手册第1版编委会

顾 问 荣 科
主 任 陶令桓
副 主 任 缪 良 周尧和 沈嘉猷
委 员 (按姓氏笔画为序)
丛 勉 刘兆邦 陈金城
余茂祚 罗志健 姜希尚
钟雪友 徐人瑞 黄恢元
谢明师

铸造非铁合金卷第1版编委会

主 任 黄恢元
副 主 任 刘伯操 蔡宗德
编 委 杨长贺 舒 震 赵九夷
曾纪德 周光垓
主 审 李庆春

第 1 版前言

随着科学技术和国民经济的发展,各行各业都对铸造生产提出新的和更高的要求。铸造技术涉及物理、化学、冶金、机械等多种学科,影响铸件质量和成本的因素又很多,所以要正确使用合理的铸造技术,生产质量高、成本低的铸件,实非易事。鉴于此,为了促进铸造生产的发展和技术水平的提高并给铸造工作者提供工作上的方便,我会编译出版委员会与机械工业出版社特别组织有关专家编写了由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造共六卷组成的《铸造手册》。

手册的内容从生产需要出发,既总结国内行之有效的技术经验,也介绍近期有可能采用的国外先进技术。手册以图表和数据为主,辅以适当的文字说明。

手册的编写工作由我会编译出版委员会和机械工业出版社负责组织和协调。本卷的编写工作得到航空航天部北京航空材料研究所的支持并在《铸造手册》中铸造非铁合金卷编委会的主持下,经过许多同志的辛勤劳动而完成的。在主编航空航天部北京航空材料研究所黄恢元同志全面负责的基础上,由副主编、编委分管各章审定工作。其各章编写分工如下:

第一章 杨长贺(大连理工大学)。

第二章 刘伯操、朱云骞(航空航天部北京航空材料研究所)。

第三章 赵志远(航空航天部北京航空材料研究所)。

第四章 薛志庠、周彦邦(航空航天部北京航空材料研究所)。

第五章 余全晞(航空航天部北京航空材料研究所)、赵九夷(中国船舶总公司洛阳船舶材料研究所)、方正春(中国船舶总公司洛阳船舶材料研究所)。

第六章 舒震(湖南大学)。

第七章 蔡宗德(合肥工业大学)。

第八章 陈荣章(航空航天部北京航空材料研究所)。

第九章 罗太平(航空航天部北京航空材料研究所)。

第十章 郎业方(航空航天部北京航空材料研究所)。

附录 袁成祺(航空航天部北京航空材料研究所)。

本卷在编写过程中得到航空航天部北京航空材料研究所、合肥工业大学、大连理工大学、湖南大学、洛阳船舶材料研究所、哈尔滨工业大学等单位的大力支持,也得到了刘德明(大连船用推进器厂)、黄克竹(中国船舶总公司洛阳船舶材料研究所)、刘则杰(镇江船舶螺旋桨厂)、刘秀(山西柴油机厂)、朱友元(武汉 471 厂)、贾均(哈尔滨工业大学)、刘书贤(松陵飞机制造公司)、王道平(黎明航空发动机公司)、郑宝湖(西安航空发动机公司)、商宝禄(西北工业大学)、金俊峰(西北林业机械厂)、陈治海(3017 厂)、韩德仁(机械电子工业部沈阳铸造研究所)、王淑芝(航空航天部北京航空材料研究所)等同志的帮助,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,不周之处,在所难免,望读者指正,供再版时修订。

本书常用的量和单位符号

一、力学性能的量 and 单位

量的名称	符号	法定计量单位	与非法定单位换算关系	量的名称	符号	法定计量单位	与非法定单位换算关系	
应力	σ	MPa	$1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 9.80665\text{MPa}$	静态弹性模量	E	GPa	$1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 0.0098067\text{GPa}$	
抗拉强度	σ_b			动态弹性模量	E_D			
弹性极限	σ_e			切变模量	G			
比例极限	σ_p				泊松比	μ		
屈服点	σ_s				布氏硬度(钢球)	HBS		
条件屈服极限	$\sigma_{0.2}$				布氏硬度(硬质合金)	HBW		
抗压强度	σ_{bc}				维氏硬度	HV		
抗弯强度	σ_{bb}				洛氏硬度 A 标尺	HRA		
抗压屈服强度	$\sigma_{-0.2}$				洛氏硬度 C 标尺	HRC		
切应力	τ				断后伸长率	δ	%	
抗剪强度	τ_b				应变率	ϵ		
扭转比例极限	τ_p				断面收缩率	ψ		
抗扭屈服强度	$\tau_{0.3}$				平面应变断裂韧性	K_{Ic}	$\text{MN}/\text{m}^{3/2}$	$1\text{kgf}/\text{mm}^{3/2} = 0.310114$
承载强度	σ_{bru}				平面应力断裂韧性	K_C	MPa	$\text{MN}/\text{m}^{3/2}$
承载屈服强度	σ_{bry}							
疲劳强度极限	σ_{-1}							
缺口疲劳极限	σ_{-1H}							
持久强度极限	σ_r							
蠕变极限	$\sigma'_{t/r}$							
冲击吸收功	A_K	J						
冲击初度(无缺口)	a_K	kJ/m^2	$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 98.0665\text{kJ}/\text{m}^2$					
(U形缺口)	a_{KU}							
(V形缺口)	a_{KV}							

二、物理性能的量 and 单位

量的名称	符号	法定计量单位	与非法定单位换算关系
密度	ρ	Mg/m^3 或 g/cm^3	
线[膨]胀系数	α_t	$10^{-6}/\text{K}$	
热导率	λ	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$1\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K}) = 418.68\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
比热容	c	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$1\text{kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 4186.8\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
电阻率	ρ	$10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$	
电导率	γ	S/m	
摩擦因数	μ		

三、合金铸造方法、变质处理代号

S——砂型铸造
K——壳型铸造
J——金属型铸造
R——熔模铸造
Y——压力铸造

Li——离心铸造
La——连续铸造
F——铸态
B——变质处理

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

本书常用的量和单位符号

第 1 章 绪 论..... 1

1.1 铸造非铁合金的发展简史 1

1.1.1 铸造铝合金 1

1.1.2 铸造铜合金 1

1.1.3 其他铸造非铁合金 3

1.2 铸造非铁合金的前景与
展望 3

1.2.1 广阔的前景 3

1.2.2 可望的进展 4

1.2.3 不懈努力, 赶超国际先进
水平 4

参考文献 4

第 2 章 铸造非铁合金基础 知识 5

2.1 元素的分类、物理性能及铸
造非铁合金的概念 5

2.1.1 元素的分类 5

2.1.2 元素的物理性能 5

2.1.3 铸造非铁合金的概念 5

2.2 常用非铁合金相图 12

2.2.1 Al 基二元合金相图 12

2.2.2 Al 基三元合金相图 26

2.2.3 Mg 基二元合金相图 29

2.2.4 Ti 基二元合金相图 36

2.2.5 Cu 基二元合金相图 40

2.2.6 Cu 基三元合金相图 52

2.2.7 Zn 基二元合金相图 54

2.2.8 Sn 基二元合金相图 56

2.2.9 Pb 基二元合金相图 60

2.2.10 Ni 基二元合金相图 62

2.2.11 Co 基二元合金相图 67

2.3 熔炼过程的物理化学基础

与精炼效果的检测 71

2.3.1 各种金属氧化物的性质 71

2.3.2 金属液的吸气与除气 73

2.3.3 金属液的氧化与脱氧 75

2.3.4 精炼效果的检测方法 78

2.4 合金的铸造性能及其测试 83

2.4.1 流动性 83

2.4.2 收缩 87

2.4.3 热裂 90

2.4.4 铸造应力 93

参考文献 95

第 3 章 铸造铝合金 96

3.1 合金及其性能 96

3.1.1 Al-Si 合金 96

3.1.2 Al-Cu 合金 135

3.1.3 Al-Mg 合金 166

3.1.4 Al-Zn 合金 172

3.1.5 其他铸造铝合金 175

3.2 熔炼和浇注 178

3.2.1 金属炉料 178

3.2.2 熔炼用工艺材料 184

3.2.3 熔炼及浇注工艺 187

3.2.4 炉前检查 198

3.3 热处理 202

3.3.1 热处理工艺分类及状态符号
意义 202

3.3.2 热处理设备及仪表 203

3.3.3 热处理工艺参数及操作 207

3.3.4 热处理质量控制 213

3.4 质量控制和铸造缺陷 217

3.4.1 质量控制项目和方法 217

3.4.2 常见的铸造缺陷 220

3.5 表面处理 222

3.5.1 机械精整 222

3.5.2 阳极氧化 222

3.5.3 镀层	222	5.1.1 合金牌号	281
3.5.4 化学抛光和电解抛光	224	5.1.2 合金化学成分	283
3.5.5 化铣	224	5.1.3 物理和化学性能	284
3.5.6 修补	224	5.1.4 力学性能	289
3.5.7 涂漆	227	5.1.5 工艺性能	296
3.5.8 喷丸和抛丸	227	5.1.6 显微组织	298
参考文献	228	5.1.7 特点和应用	299
第4章 铸造镁合金	230	5.2 熔炼和浇注	300
4.1 合金及其性能	230	5.2.1 自耗电铸锭的制备工艺	301
4.1.1 镁-铝系合金	231	5.2.2 铸件的熔铸工艺	306
4.1.2 镁-锌-锆系合金	242	5.3 热处理	311
4.1.3 镁-稀土金属-锆系合金	246	5.3.1 热处理种类和工艺参数	311
4.2 熔炼和浇注	254	5.3.2 铸件热处理后表面污染的处理	313
4.2.1 原材料与回炉料	254	5.3.3 钛合金铸件热处理效果的评定	314
4.2.2 中间合金	254	5.4 钛及其合金的铸件设计	314
4.2.3 熔剂	255	5.4.1 铸造工艺分类及应用	314
4.2.4 熔炼前的准备工作	256	5.4.2 铸件结构设计	315
4.2.5 镁合金的熔炼	260	5.4.3 铸件工艺设计	316
4.2.6 浇注工艺	262	5.4.4 浇冒口系统	318
4.2.7 熔炼浇注安全技术	263	5.5 钛合金铸造用造型材料及造型工艺	319
4.3 热处理	264	5.5.1 造型材料的选择	319
4.3.1 热处理状态和选择	264	5.5.2 金属型及石墨加工型的铸造工艺	320
4.3.2 热处理工艺参数及影响	264	5.5.3 石墨捣实型工艺	321
4.3.3 热处理用保护气氛	266	5.5.4 熔模精密铸造工艺	322
4.3.4 热处理质量控制	267	5.5.5 其他造型工艺	324
4.3.5 焊后热处理	268	5.6 钛铸件的清理精整	324
4.3.6 热处理安全技术	269	5.6.1 清理精整	324
4.4 化学氧化处理	270	5.6.2 钛铸件的常见缺陷和修复	324
4.4.1 化学氧化处理的工艺流程	270	5.7 钛合金铸件的质量控制	325
4.4.2 各种溶液的配制和使用	271	参考文献	326
4.4.3 化学氧化溶液的调整	272	第6章 铸造铜及铜合金	327
4.4.4 各种溶液的检验	273	6.1 合金及其性能	329
4.4.5 氧化膜的常见缺陷及返修	273	6.1.1 紫铜	329
4.4.6 化学氧化膜的耐蚀性检验	274	6.1.2 青铜	333
4.5 质量控制和常见的铸造缺陷	275	6.1.3 黄铜	374
4.5.1 质量控制项目和方法	275	6.1.4 白铜	394
4.5.2 常见的缺陷和防止方法	277	6.1.5 特殊用途的铜合金	401
参考文献	280		
第5章 铸造钛合金	281		
5.1 合金及其性能	281		

6.2 熔炼和浇注	407	7.6 其他铸造锌合金	483
6.2.1 原材料和回炉料	407	7.6.1 减振锌合金	483
6.2.2 中间合金	408	7.6.2 耐磨锌合金	483
6.2.3 熔剂	412	参考文献	484
6.2.4 熔炼准备	418	第8章 铸造轴承合金	485
6.2.5 熔炼工艺	424	8.1 锡基和铅基轴承合金	486
6.3 热处理和表面处理	438	8.1.1 锡基轴承合金	486
6.3.1 热处理	438	8.1.2 铅基轴承合金	490
6.3.2 表面处理	442	8.1.3 锡基和铅基轴承合金的熔	
6.4 铸造缺陷及修补	446	铸	495
6.4.1 铸造缺陷及防止方法	446	8.1.4 锡基和铅基合金轴承的质量	
6.4.2 修补	446	检验	500
参考文献	458	8.1.5 锡基和铅基轴承合金的铸造	
第7章 铸造锌合金	459	缺陷分析	502
7.1 合金及其性能	459	8.1.6 锡基和铅基轴承合金废料的	
7.1.1 合金牌号	459	回收	503
7.1.2 化学成分	460	8.2 铜基轴承合金	503
7.1.3 物理和化学性能	461	8.3 铝基轴承合金	512
7.1.4 力学性能	464	参考文献	519
7.1.5 摩擦磨损特性	468	第9章 铸造高温合金	520
7.1.6 工艺性能	469	9.1 合金牌号、标准、成分和	
7.1.7 显微组织	472	性能	520
7.1.8 特点和用途	474	9.1.1 合金牌号和标准	520
7.2 熔炼和浇注	476	9.1.2 合金化学成分	521
7.2.1 熔炼用的金属材料和非金属		9.1.3 物理和化学性能	524
材料	476	9.1.4 力学性能	528
7.2.2 熔炼工艺	476	9.1.5 工艺性能	548
7.2.3 净化与变质处理	477	9.1.6 显微组织	550
7.2.4 炉前检查	478	9.1.7 特点和应用	552
7.2.5 浇注	478	9.2 合金的熔炼	554
7.3 热处理	478	9.2.1 母合金的制备	554
7.3.1 稳定化处理(低温时效)	478	9.2.2 母合金的重熔	558
7.3.2 均匀化	479	9.2.3 定向凝固	559
7.4 表面处理	479	9.2.4 细晶铸造	561
7.4.1 电镀	479	9.3 合金的热处理	562
7.4.2 涂漆	480	9.3.1 热处理设备	562
7.4.3 金属喷镀	480	9.3.2 热处理工艺	562
7.4.4 阳极氧化处理	481	9.3.3 热等静压处理	563
7.5 质量控制	481	9.3.4 表面防护处理	564
7.5.1 质量检查	481	9.4 质量控制和检验方法	565
7.5.2 铸造缺陷分析	482		

9.4.1 质量检验方法	565	11.3.4 真空感应熔炼炉	613
9.4.2 常见的铸造缺陷及防止 方法	566	11.3.5 真空感应熔炼定向凝固炉 ...	616
参考文献	567	11.3.6 冷坩埚感应凝壳熔炼炉	619
第 10 章 金属及非金属原材 料	568	11.4 真空电弧炉	620
10.1 纯金属	568	11.4.1 真空自耗电电弧炉	620
10.2 非金属及辅助材料	579	11.4.2 真空电弧凝壳炉	622
第 11 章 铸造非铁合金熔炼 炉	593	11.5 火焰炉	623
11.1 对熔炼设备的要求、分类 和选用	593	11.5.1 火焰反射炉	623
11.1.1 对熔炼设备的基本要求	593	11.5.2 燃料坩埚炉	629
11.1.2 熔炼炉的分类和选用	593	11.6 我国主要工业电炉生产 厂家	630
11.2 电阻熔炼炉	593	参考文献	631
11.2.1 电阻炉用主要材料	593	附录	632
11.2.2 电气配套和温度控制	595	附录 A 铸造铝合金国外标准	633
11.2.3 电阻炉的技术发展趋势	595	A.1 铸造铝合金国际标准	633
11.2.4 坩埚电阻炉	595	A.2 铸造铝合金美国标准	637
11.2.5 反射电阻炉	598	A.3 铸造铝合金俄罗斯标准	647
11.2.6 箱式电阻炉	600	A.4 铸造铝合金英国标准	659
11.2.7 红外熔炼炉	600	A.5 铸造铝合金日本标准	663
11.3 感应熔炼炉	602	附录 B 铸造铜合金国外标准	666
11.3.1 工频无心感应熔炼炉	602	B.1 铸造铜合金国际标准	667
11.3.2 工频有心感应熔炼炉	606	B.2 铸造铜合金美国标准	671
11.3.3 中频无心感应熔炼炉	609	B.3 铸造铜合金俄罗斯标准	683
		B.4 铸造铜合金英国标准	687
		B.5 铸造铜合金日本标准	691

第 1 章 绪 论

1.1 铸造非铁合金的发展简史

1.1.1 铸造铝合金

铸造铝合金是较为年轻的铸造非铁合金。虽然元素铝(Al)在地壳中蕴藏量极大(约占7.5%,比其他非铁金属元素蕴藏量的总和还要多),分布又最广泛,但是自1855年世界上首次出现铝的制品以来,铝的使用历史至今还不到150年。并且,初期的铝十分昂贵,只用来制造首饰。随着铝产量的不断增长及其价格的不断降低,直到20世纪初才出现作为结构材料的铸造铝合金,至今也不足100年。

最早获得工业应用的铸造铝合金属于Al-Cu类铸铝。当1920年欧洲人Pacz发现了金属Na对Al-Si合金的显微组织有变质作用,进而提高其力学性能后,Al-Si类铸铝便成为一种优良的铸造铝合金在世界范围内获得越来越广泛的应用。Al-Mg类铸铝由于熔铸工艺复杂而使用较晚,直至第二次世界大战后,逐步掌握了熔铸工艺,才获得了工业应用。

铸造铝合金是一种典型的铸造轻合金。它密度小,比强度高,还有导热性好、耐蚀性好等许多特殊性能,因此铸铝的科研、生产及应用均获得了迅猛的发展。如Al-Si基铸造铝合金,由于具有优良的铸造性能和较好的力学性能,加上采用先进技术,现已能用来制造气缸体、缸盖、轮毂、叶轮等许多重要结构的铸件,以至成为产量最大用处最广的铸造铝合金;共晶型、过共晶型的Al-Si基多元铸造铝合金,由于导热性好、线胀系数小、耐磨性好,已成为铸造活塞的理想材料;具有高强度、高耐热性能的Al-Cu基铸造铝合金以及耐蚀性好、比强度高、密度小的Al-Mg基铸造铝合金等新的铸造铝合金不断出现,使得铸造铝合金已经成为现今产量最大的铸造非铁合金。

我国铸铝工业由于历史原因而起步较晚。在建国前,铸铝工业几乎是一片空白。但在建国后获得了蓬勃发展。铸造铝合金的新品种及熔铸生产

的新技术不断涌现。高强度铸造铝合金等研究成果已获得成功应用,并具有国际先进水平。现已能铸造2t以上的大型铝合金铸件。现有铸造铝合金国家标准牌号已达四大类26个品种,其年产量已远远超过其他所有各种铸造非铁合金年产量的总和。铸造铝合金现已成为我国国防建设及工农业生产不可缺少的重要的铸造合金材料。

1.1.2 铸造铜合金

我国铜合金的铸造历史悠久,并且技艺高超,已经成为标志我国为世界文明古国的重要考证之一。根据考古发现,在河南浙川文化遗址中发现了相当于夏朝的青铜器;在四千多年前的甘肃齐家文化遗址中也发现了红铜器。而后到殷、商时代进入了古代历史上的青铜时期。当时已能铸造出如司母戊大方鼎(见图1-1)这样精美的大型青铜铸件。商末周初,是古代青铜铸造步入发达的时期,造型雄伟、冶铸精良、花纹细丽而光洁的商代四羊方尊(见图1-2)以及造型优美、工艺精巧的西周早期凤纹卣等青铜铸品已成为当时的代表作。到了春秋战国时代,已是青铜铸造的鼎盛时期。楚之曾国的曾侯乙,组织生产了大量的珍贵的

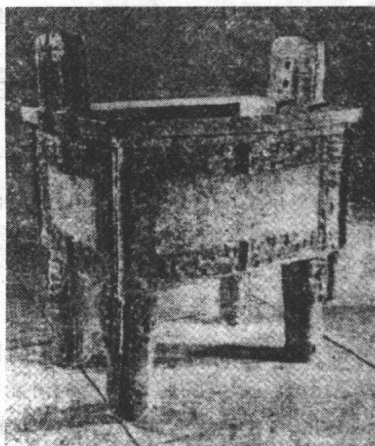


图 1-1 司母戊大方鼎

(商王文丁祭母而铸。1939年河南安阳出土。

带耳高1370mm,器口长1100mm,宽780mm,

重875kg,内壁铸铭文“司母戊”三个字)

金属器物,以青铜铸造的编钟和尊盘,乃是稀世之宝,如其中的曾侯乙尊、盘两件一套,造型优美,结构玲珑,铸工精细,堪称中国古代青铜器中的极品。东周时期的代表性兵器越王勾践剑(见图1-3),其表面规则地分布着具有约几十微米厚的细枝晶层的菱形纹饰,极具装饰性。春秋末期铸造出的双金属剑,以韧性好的低锡青铜作中脊合金,以硬度很高的高锡青铜作两刃,做到利剑不断。春秋战国以后,铸造青铜器仍有较大发展。虽然,由于奴隶社会的崩溃而使礼器的生产渐少,但是铜镜、铜币、铜钟和铜鼓等四大类铜铸件乃至在整个“铁器时代”长盛不衰。如西汉时期铸造的“透光”镜,不但花纹精细,更奇妙的是,在日光照射下,镜面的反射光照在墙壁上,竟能把镜背面的花纹、图案、文字等都清晰地显现出来,被国际冶金界誉为“魔镜”。此外,还有秦始皇铜车马、明代喷水鱼洗和龙洗等。举不胜举的实例都充分显示了我国历代青铜铸造的精湛技术水平,青铜制造业已具有相当的规模,并且无论在合金化、熔炼技术及铸型工艺等方面都已远远走在同时代世界各国的前面。

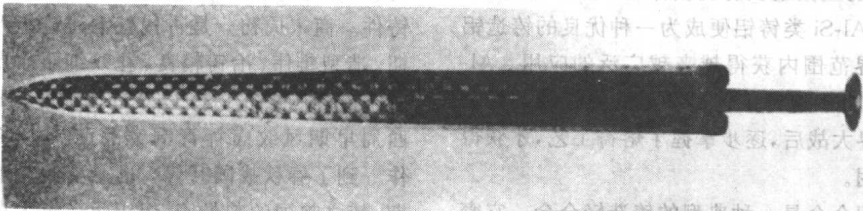


图 1-3 越王勾践剑

我国也是使用黄铜历史最早的国家之一。南北朝的炼丹士们已能用炉甘石(碳酸锌矿石)炼得黄铜。建于明代的武当山金殿(见图1-4),可称其为精美的铸造黄铜代表作。整个金殿从门窗、梁柱、菩萨到香案供桌全部用黄铜铸造,巍然屹立在天柱峰的悬崖峭壁之上,历来被认为是“天上的瑶台金阙”。

然而,我国到建国前夕时,具有悠久历史并且技艺非凡的铸铜业已是奄奄一息,直到建国后才重新获得了迅速发展。铸造铜合金的内涵已发生非常大的变化。如:铸造青铜早已不只是锡青铜,而产生了诸如铝青铜、铅青铜、铍青铜等一系列具有特殊性能和用途的铸造青铜;铸造黄铜也早已不只是普通黄铜,而产生了诸如铝黄铜、锰黄铜、铁黄铜、硅黄铜、铅黄铜等一系列特殊黄铜;铸造

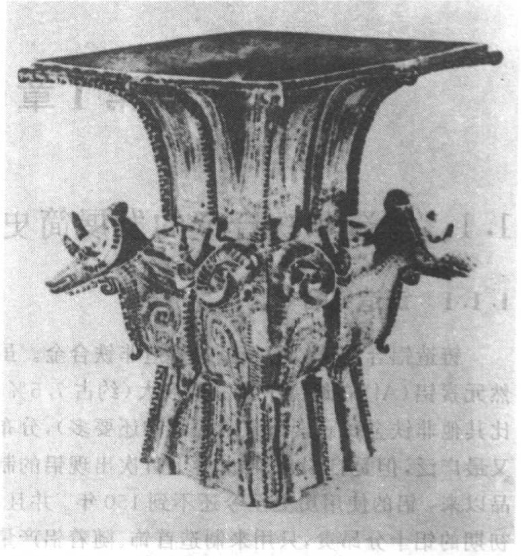


图 1-2 四羊方尊 (商后期酒器。1938年湖南宁乡出土。高583mm,上口每边长524mm,重34.5kg,尊的颈部为蕉叶夔纹、兽面纹、云雷纹,肩部浮雕出缠绕的四条龙,前肩四面以圆雕形式各铸一大卷角羊的前半身,而头、腹部构成器腹四角)



图 1-4 武当山金殿 (建于1416年。通高5.5m,宽5.8m,进深4.2m;二层屋面上的八条戗脊上各饰有七个一组的仙人走兽;殿内铜像1700kg)

纯铜、铸造白铜在某些专门的部门获得了较快发展。作为结构材料的铸造铜合金,现已发展到30多个品种,有的具有优良的力学性能,有的具有很高的耐磨性能,有的具有很高的耐蚀性能,有的具有优良的综合性能而被广泛地应用着。我国铸铜业已发展到一个崭新的水平,已能铸造具有国际先进水平的重达近30t的大型铜合金船用螺旋桨,并成为发展军事与民用工业不可缺少的重要组成部分。同时,近十多年来,传统的艺术铸铜大放异彩。例如,我国政府赠送给联合国成立50周年庆典礼物的“世纪宝鼎”,已作为中华文化的象征,永远屹立在纽约联合国广场;祖国内地为香港宝莲寺铸造了坐高26.4m,重达177t的天坛大佛,促使香港大屿岛成为闻名的佛教和旅游胜地;而首都北京为迎接21世纪而建造的中华世纪坛的青铜甬道及中华世纪钟将会在世人中产生久远的影响。所有这些铸品,其艺术品位不断提高并在改革开放中正在产生着良好的经济效益和重要的社会价值。

1.1.3 其他铸造非铁合金

铸造锌合金、铸造巴氏合金的生产历史较长。前者主要适于压力铸造或重力铸造,用来浇注汽车、拖拉机等机电部门的各种仪表壳体类铸件或浇注各种起重设备、机床、水泵等的轴承,并且近些年来又发展了高铝的高强度高耐磨性的铸造锌合金。后者主要指铸造锡基和铅基合金,它是典型的减磨合金,主要用于浇注双金属轴瓦。

我国铸造镁合金的生产还是解放后的事情,它是随着国防工业发展的需要而发展起来的。在工业应用的铸造合金中,铸造镁合金密度最小,于是以比强度和疲劳强度高、比弹性模量高著称,并有良好的减磨等性能。因此较广泛地应用在航空工业中,而在民用工业中也逐渐得到较多的应用。但是,由于镁(Mg)化学活性强,在熔铸工艺过程中极易氧化,甚至燃烧,而且镁的氧化物(MgO)质地疏松,没有保护性能,因此熔铸工艺十分复杂,给铸造生产带来很大困难。

铸造钛合金是目前最年轻的铸造非铁合金结构材料,具有很高的比强度、耐腐蚀性和耐热性,在工业中应用越来越多,已日益成为现代工业与科技领域引人注目的新材料。特别是在航空、航天、造船、化工等工业中,钛合金大多用于浇注关键零

部件,如飞机、导弹上的重要结构件,小型快艇上的螺旋桨,化学工业中的各种耐腐蚀泵,乃至医疗用的假肢、体育用的高尔夫球头等,它的性能好坏通常决定了产品水平的高低。但是,由于钛(Ti)的化学活性极强,在熔融条件下几乎能与所有耐火材料起反应,导致熔铸工作十分困难。我国从20世纪60年代开始研究钛合金的精密铸造技术,而且近些年来发展较快。钛合金从真空自耗电电弧炉熔炼开始研制,到今天已能成功地采用先进的水冷铜坩埚真空感应凝壳熔炼(ISM)技术。同时已经较好地掌握了永久性铸型和一次性铸型的铸造工艺。

铸造高温合金是第二次世界大战期间随着航空涡轮发动机的出现而发展起来的一种重要结构材料。它主要用于燃汽轮机的热端部件。近些年来,我国的铸造高温合金发展较快,现已有Ni基、Co基和Fe-Ni基三大系列近40个品种,已经成为航空、航天、造船、发电、石化和交通运输等部门的重要结构材料。

1.2 铸造非铁合金的前景与展望

1.2.1 广阔的前景

展望未来,铸造非铁合金生产有广阔的发展前景。主要反映在:

1) 地位日显重要:由于各种铸造非铁合金均有各自的特殊性能,如高强度、高耐蚀性、高耐热性、高耐磨性或优良的综合性能,而其中铸造轻合金又有卓著的各种比性能等优点,因此它在许多军事工业乃至民用工业中已经成为不可缺少的结构材料,并且在各国建设中的这种地位显得越来越重要。若没有铝合金、镁合金,那么航空、航天等工业是不可能发展的;若没有铜合金,那么造船、化工等部门也很难维持。

2) 产量不断增长:许多非铁金属元素藏量丰富,并随着冶炼技术及能力的提高,必将导致其产量不断增长,价格日渐降低,从而促进铸造非铁合金生产的发展。与此同时,随着铸造非铁合金熔铸技术与能力的提高,必然会有力地推动其产量不断扩大。据有关报道,按1997年世界38个国家和地区铸件生产的统计资料,铸造非铁合金的铸件年产量已达850多万t,比1996年增长15.3%。