

铸造手册

铸造非铁合金

第3卷



机械工业出版社

TG 2-62

7 66

53

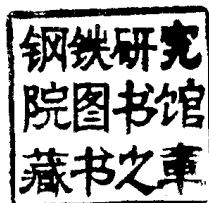
铸 造 手 册

第 3 卷

铸 造 非 铁 合 金

中国机械工程学会铸造专业学会 编

5120/1



机 械 工 业 出 版 社

222373

(京) 新登字054号

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六卷出版。本书为第3卷《铸造非铁合金》。该卷共有基础知识、铸造铝合金、铸造镁合金、铸造钛合金、铸造铜合金、铸造锌合金、铸造轴承合金、铸造高温合金、金属原材料及非金属原材料、铸造用炉共10章以及附录。基础知识、原材料、铸造用炉三章中介绍了制备各种合金共同需要的基础知识、原材料及熔炼用炉供选用。其余各章分别介绍了各种合金的牌号、成分、金相组织,理化性能、力学性能及工艺性能、熔炼浇注工艺、热处理规范、质量控制及缺陷分析以及各种非铁合金的使用特点。附录中给出了铸造铝合金、铜合金的国际标准,美、前苏、英主要国家标准以及我国铸造非铁合金相应的标准对照。

本书所介绍的合金牌号均是我国最新颁布的标准牌号。全书采用国家最新统一的名词术语及法定计量单位。

铸 造 手 册

第 3 卷

铸造非铁合金

中国机械工程学会铸造专业学会 编

*

责任编辑:余茂祚 版式设计:王 颖

封面设计:姚 毅 责任校对:熊天荣

责任印制:路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $38^{1/2}$ · 插页 3 · 字数 942 千字

1993年2月北京第1版·1993年2月北京第1次印刷

印数 0,001—05,350 · 定价: 34.00 元

*

ISBN 7-111-03202-0/TG·702

铸造手册编委会

顾 问 荣 科
主 任 陶令桓
副 主 任 缪 良 周尧和 沈嘉猷
委 员 (以姓氏笔划为序)
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

铸造非铁合金手册编委会

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

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、朱云翥 (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 余全晔 (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。由于著者水平有限, 不周之处, 在所难免, 望读者指正, 供再版时修订。

中国机械工程学会铸造专业学会

有关的量和单位符号

一、力学性能的量 and 单位

量的名称	符号	计量单位 符号	换算关系	量的名称	符号	计量单位 符号	换算关系
应力	σ	MPa	$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.80665 \text{ MPa}$ $1 \text{ MPa} = 0.10197 \text{ kgf/mm}^2$	静态弹性模量	E	GPa	$1 \text{ kgf/mm}^2 = 0.00980667 \text{ GPa}$ $1 \text{ GPa} = 101.97162 \text{ kgf/mm}^2$
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	$\sigma_{0.01}$			泊松比	μ	—	
屈服点	σ_s			硬度 (布氏)	HBS		
条件屈服强度	$\sigma_{0.2}$				HBW		
抗压强度	σ_{bc}			(维氏)	HV		
抗压屈服强度	$\sigma_{-0.2}$			(洛氏)	HRA		
抗剪强度	τ				~ HRC		
抗扭强度	τ_b			伸长率	δ	%	
扭转比例极限	$\tau_{0.015}$			应变率	ϵ		
抗扭屈服强度	$\tau_{0.3}$			断面收缩率	ψ		
承载强度	σ_{bru}			平面应变断裂 韧度	K_{Ic}	MN/m ^{3/2}	$1 \text{ kgf/mm}^{3/2} = 0.310114 \text{ MN/m}^{3/2} (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$
承载屈服强度	σ_{bry}			平面应力断裂 韧度	K_c	(MPa√m)	$1 \text{ MN/m}^{3/2} = 3.22464 \text{ kgf/mm}^{3/2}$
疲劳强度极限	σ_{-1}						
缺口疲劳极限	σ_{-1H}						
持久强度极限	σ_t^0						
蠕变极限	$\sigma_{\delta/t}^0$						
冲击韧度 (无缺口)	a_K	kJ/m ²	$1 \text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2 = 98.0665 \text{ kJ/m}^2$ $1 \text{ kJ/m}^2 = 0.010197 \text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2$				
(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	计量单位 符 号	换算关系	量的名称	符号	计量单位 符 号	换算关系
密度	ρ	Mg/m^3 $= \text{kg}/\text{dm}^3$		比热容	c	$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 4186.8 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
线膨胀系数	α	$^\circ\text{C}^{-1}$		电阻率	ρ	$\Omega \cdot \text{m}$	
热导率	λ	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	$1 \text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) = 418.68 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	电导率	κ	S/m	
				摩擦系数	μ	—	

三、合金铸造方法、变质处理代号

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

Y —— 压力铸造
Li —— 离心铸造
La —— 连续铸造
B —— 变质处理

目 录

前言

有关的量和单位符号

第一章 铸造非铁合金基础知识1

一、元素的分类、物性与铸造非铁

合金的概念1

1. 元素的分类.....1

2. 元素的物性值.....1

3. 铸造非铁合金的概念.....6

二、非铁合金的二元相图6

1. Al基二元合金相图6

2. Mg基二元合金相图.....10

3. Ti基二元合金相图11

4. Cu基二元合金相图11

5. Zn基二元合金相图17

6. Sn基二元合金相图17

7. Pb基二元合金相图17

8. Ni基二元合金相图17

三、熔炼过程的物理化学基础与精炼

效果的检测19

1. 各种金属氧化物的性质19

2. 金属液的吸气与除气20

(1) 金属液的吸气特性.....20

(2) 金属液中气体的来源.....21

(3) 金属液的除气.....22

3. 金属液的氧化与脱氧23

(1) 金属液的氧化特性.....23

(2) 金属液中金属氧化物的去除.....25

4. 精炼效果的检测方法27

(1) 含气量的检测方法.....27

(2) 氧化夹杂物含量的检测方法.....32

四、合金的铸造性能及其测试33

1. 流动性33

2. 收缩36

3. 热裂41

4. 铸造应力44

参考文献47

第二章 铸造铝合金48

一、合金及其性能49

1. 铸造Al-Si系合金49

(1) 合金牌号.....49

(2) 化学成分.....50

(3) 物理性能.....52

(4) 力学性能.....53

(5) 工艺性能.....76

(6) 显微组织.....79

(7) 特点及应用.....85

2. 铸造 Al-Cu系合金.....86

(1) 合金牌号.....87

(2) 化学成分.....87

(3) 物理及化学性能.....88

(4) 力学性能.....90

(5) 工艺性能101

(6) 显微组织106

(7) 特点及应用112

3. 其他铸造铝合金.....113

(1) 合金牌号113

(2) 化学成分113

(3) 物理及化学性能114

(4) 力学性能115

(5) 工艺性能118

(6) 显微组织118

(7) 特点及应用120

4. Al-Li系合金的发展121

二、熔炼和浇注122

1. 熔炼用金属和非金属材料.....122

2. 熔炼用辅助材料.....122

(1) 熔剂122

(2) 涂料123

(3) 精炼剂123

(4) 变质剂123

3. 中间合金和预制合金锭.....124

(1) 铝基中间合金的化学成分124

(2) 铝基中间合金的配制工艺	124	(2) 镀层	159
(3) 预制合金锭的牌号、成分和 技术要求	125	(3) 浸润处理	160
(4) 回炉料的分级、技术要求和最大 回用量	126	(4) 涂漆	161
4. 熔炼及浇注工艺	126	(5) 表面喷丸强化	161
(1) 铸造铝合金的配料计算	126	四、质量控制和铸造缺陷	162
(2) 金属炉料的准备	128	1. 铝合金质量控制项目和方法	162
(3) 非金属辅助材料的准备	129	(1) 化学成分的控制	162
(4) 熔炼设备和工具	130	(2) 力学性能	162
(5) 常用的熔炼浇注工具	131	(3) 内部质量检验	162
(6) 精炼工艺	132	(4) 气密性	162
(7) 变质处理工艺	137	(5) 金相组织的低倍检查	162
(8) 熔炼工艺	138	2. 常见的铸造缺陷	162
(9) 浇注工艺	138	参考文献	165
5. 炉前检查	139	第三章 铸造镁合金	166
(1) 温度的检测与控制	139	一、合金及其性能	167
(2) 气体含量的检查	139	1. 镁-铝系合金	167
(3) 断口检查	141	(1) 合金牌号	167
(4) 成分分析	141	(2) 化学成分	167
(5) 力学性能的检查	142	(3) 物理和化学性能	168
三、热处理	142	(4) 力学性能	168
1. 热处理工艺分类及状态符号意义	142	(5) 工艺性能	174
(1) 热处理工艺分类及原理	142	(6) 显微组织	175
(2) 热处理状态代号及意义	143	(7) 显微疏松对ZM5合金力学性能的 影响	176
2. 热处理设备及仪表	144	(8) 特点和用途	177
(1) 热处理用炉特点	144	2. 镁-锌-锆系合金	179
(2) 淬火水槽及淬火介质	144	(1) 合金牌号	179
(3) 仪表及热电偶	145	(2) 化学成分	179
(4) 铝合金用热处理炉	145	(3) 物理和化学性能	180
3. 热处理工艺参数及操作	146	(4) 力学性能	180
(1) 热处理工艺参数	146	(5) 工艺性能	183
(2) 热处理工艺参数对某些合金拉伸 性能的影响	149	(6) 显微组织	183
(3) 热处理操作要点	151	(7) 特点和应用	184
4. 热处理质量检查	153	3. 镁-稀土金属-锆系合金	184
(1) 检查项目	153	(1) 合金牌号	184
(2) 热处理缺陷及消除方法	153	(2) 化学成分	184
(3) 典型的过烧显微组织	154	(3) 物理和化学性能	184
(4) 过烧及回复	154	(4) 力学性能	186
5. 表面处理	157	(5) 工艺性能	191
(1) 阳极化	157	(6) 显微组织	191
		(7) 特点和应用	193
		二、熔炼和浇注	193

1. 原材料与回炉料	193	4. 各种溶液的检验	211
2. 中间合金	193	5. 氧化膜的常见缺陷及返修	211
(1) 中间合金的成分	193	(1) 氧化膜层常见缺陷的产生原因及排除方法	211
(2) 中间合金的配制	194	(2) 膜层的退除	211
3. 熔剂	195	(3) 膜层的局部氧化法	213
(1) 熔剂的化学成分和应用	195	6. 化学氧化膜的耐蚀性检验	214
(2) 熔剂的配制	195	(1) 化学氧化膜的检验	214
4. 熔炼前的准备工作	195	(2) 氧化膜的耐蚀时间	214
(1) 配料	195	五、质量检验和常见的铸造缺陷	214
(2) 炉料及熔炼用辅助材料的准备	197	1. 质量检验项目和方法	214
(3) 设备、坩埚与工具的准备	197	(1) 化学成分的检验	214
5. 镁合金的熔炼	199	(2) 力学性能的检验	214
(1) 变质处理和精炼处理	199	(3) 铸件的内部质量和气密性	216
(2) 熔炼工艺	201	(4) 工艺检验	216
6. 浇注工艺	201	2. 常见的缺陷和防止方法	216
(1) 用浇包的浇注工艺	201	(1) 氧化冷隔	216
(2) 用坩埚的浇注工艺	201	(2) 夹杂	216
三、热处理	203	(3) 显微疏松和松孔	216
1. 热处理状态和选择	204	(4) 偏析	218
2. 热处理工艺参数及影响	204	(5) 热裂	218
(1) 热处理工艺参数	204	参考文献	219
(2) 各种因素对热处理的影响	204	第四章 铸造钛合金	220
3. 热处理用保护气氛	204	一、合金及其性能	220
(1) 保护气氛的应用	204	1. 合金牌号	220
(2) 保护气氛的种类和选用	205	2. 化学成分	221
4. 热处理质量控制	205	3. 物理和化学性能	223
(1) 铸件的装炉温度	205	(1) 物理性能	223
(2) 热处理温度的控制	205	(2) 抗氧化性能	223
(3) 铸件变形的控制	206	(3) 耐腐蚀性能	223
(4) 淬火介质	207	(4) 电化学腐蚀	227
(5) 热处理炉	207	(5) 氢脆	227
(6) 热处理缺陷及其消除方法	207	4. 力学性能	227
(7) 热处理效果的评定	208	(1) 技术标准规定的力学性能	227
5. 焊后热处理	208	(2) 室温力学性能	227
四、化学氧化处理	209	(3) 高温力学性能	230
1. 化学氧化处理的工艺流程	209	(4) 持久和蠕变性能	233
2. 各种溶液的配制和使用	209	(5) 疲劳性能	233
(1) 化学除油	209	5. 工艺性能	233
(2) 酸处理	209	(1) 铸造性能	233
(3) 各种化学氧化处理	209	(2) 焊接性能	235
(4) 填充处理	209	(3) 切削性能	236
3. 化学氧化溶液的调整	211		

6. 显微组织.....	236	(4) 型芯设计	258
7. 特点和应用.....	237	(5) 铸造孔	258
(1) α 型合金	237	(6) 铸造斜度	259
(2) $\alpha + \beta$ 型合金	237	(7) 收缩率	259
(3) β 型合金	238	4. 浇冒口系统.....	259
二、熔炼和浇注	238	五、钛合金铸造用造型材料与造型	
1. 自耗电极铸锭的制备工艺.....	239	工艺	261
(1) 电极块的制备	240	1. 造型材料的选择.....	261
(2) 自耗电极铸锭的熔炼	241	(1) 造型材料的技术要求	261
(3) 铸锭的质量要求	241	(2) 耐火材料的种类与性能	261
(4) 技术安全	243	(3) 粘结剂	262
(5) 各种熔炼方法的工艺特性比较	244	2. 金属型及石墨加工型的铸造工艺.....	263
2. 铸件的熔铸工艺.....	245	(1) 金属型的特点及应用	263
(1) 真空自耗电极电弧凝壳熔铸法	245	(2) 石墨加工型的特点及应用	263
(2) 电子束熔铸法	248	3. 石墨捣实型工艺.....	263
(3) 真空非自耗电极电弧凝壳		(1) 分类及典型配比	263
熔铸法	248	(2) 造型工艺及特性	263
(4) 真空感应熔铸法	250	4. 熔模精密铸造工艺.....	265
(5) 等离子弧熔铸法	250	(1) 石墨熔模型壳工艺	266
(6) 等离子-电子束熔铸法.....	250	(2) 钨面层陶瓷型壳工艺	267
三、热处理	250	(3) 氧化物陶瓷型壳工艺	267
1. 热处理种类和工艺参数.....	251	5. 其他造型工艺.....	267
(1) 退火处理	251	(1) 氧化物陶瓷型	267
(2) 真空除氢退火	251	(2) 石墨壳型	268
(3) 热等静压处理	251	(3) 石墨沉积陶瓷型壳	268
2. 铸件热处理后表面污染的处理.....	252	六、钛铸件的清理精整	268
3. 钛合金铸件热处理效果的评定.....	253	1. 清理精整.....	268
四、钛及其合金的铸件设计	254	2. 钛铸件的常见缺陷和修复.....	269
1. 铸造工艺分类及应用.....	254	(1) 常见缺陷	269
(1) 工艺分类	254	(2) 焊补	269
(2) 工艺流程	254	(3) 热等静压处理	270
(3) 应用范围	254	七、钛合金铸件的质量检验	270
2. 铸件结构设计.....	254	1. 尺寸检查.....	270
(1) 合理结构的选择	254	2. 表面质量.....	270
(2) 尺寸精度与粗糙度	256	3. 内部质量.....	270
(3) 铸件壁厚	256	4. 化学成分检验.....	271
(4) 铸造圆角	257	5. 力学性能检验.....	271
(5) 孔间及壁间的最小间距	257	参考文献	271
3. 铸件工艺设计.....	257	第五章 铸造铜及铜合金	272
(1) 加工余量	257	一、合金及其性能	273
(2) 基准面的选择	258	1. 纯铜.....	273
(3) 分型面设计	258	(1) 牌号和化学成分	273

(2) 物理和化学性能	273	(1) 炉料和辅助材料的准备	360
(3) 力学性能	275	(2) 熔炉及熔炼工具的准备	360
(4) 工艺性能	275	(3) 配料	362
(5) 金相组织	276	5. 熔炼工艺	366
2. 青铜	277	(1) 纯铜的熔炼	367
(1) 铸造锡青铜	277	(2) 锡青铜和铅青铜的熔炼	368
(2) 铸造铝青铜	291	(3) 铝青铜的熔炼	370
(3) 铸造铍青铜	308	(4) 铍青铜和铬青铜的熔炼	371
(4) 铸造硅青铜、锰青铜和铬青铜	316	(5) 白铜和铜锰合金的熔炼	373
3. 铸造白铜	319	(6) 黄铜的熔炼	373
(1) 合金牌号和化学成分	319	(7) 熔炼工艺参数对铸造铜合金性能的影响	374
(2) 物理和化学性能	319	(8) 炉前控制和检验	377
(3) 力学性能	321	6. 浇注工艺	379
(4) 工艺性能	322	(1) 浇注系统设计	380
(5) 合金的显微组织	323	(2) 冒口尺寸	381
(6) 特点和应用	323	(3) 浇注温度	381
4. 黄铜	323	三、铜合金铸件的热处理及表面处理	386
(1) 合金牌号	326	1. 热处理分类	387
(2) 化学成分	326	2. 热处理工艺	387
(3) 物理和化学性能	327	(1) 热处理工艺参数	387
(4) 力学性能	328	(2) 热处理操作要点	387
(5) 工艺性能	336	3. 热处理质量检验	388
(6) 合金的显微组织	340	(1) 检验项目	388
(7) 特点和应用	343	(2) 热处理缺陷及消除方法	389
5. 特殊用途的铜合金	343	4. 表面处理	389
(1) 铜—锰基阻尼合金	343	四、铸件的缺陷及修补	392
(2) 艺术铜合金	346	1. 铸件的缺陷及防止方法	392
二、合金的熔炼和浇注	350	2. 铸件的修补	392
1. 原材料和回炉料	350	(1) 焊补法	394
(1) 金属材料	350	(2) 浸渗法	398
(2) 非金属材料及辅助材料	350	(3) 补铸	398
(3) 回炉料	351	(4) 其他修补方法	399
2. 中间合金	352	参考文献	400
(1) 牌号和化学成分	352	第六章 铸造锌合金	402
(2) 中间合金的配制	352	一、合金及其性能	402
3. 熔剂	352	1. 合金牌号	402
(1) 覆盖剂	355	2. 化学成分	403
(2) 精炼剂	355	3. 物理和化学性能	404
(3) 氧化剂	358	(1) 物理性能	404
(4) 脱氧剂	358	(2) 耐蚀性	404
(5) 晶粒细化剂	359		
4. 熔炼前的准备	360		

4. 力学性能.....406	(3) 金相组织427
(1) 室温力学性能406	2. 锌合金铸件缺陷分析.....428
(2) 温度对力学性能的影响408	参考文献429
(3) 蠕变性能410	第七章 铸造轴承合金431
5. 摩擦磨损特性.....411	一、锡基和铅基轴承合金433
(1) PV (压力-速度) 特性411	1. 锡基轴承合金.....433
(2) 摩擦系数411	(1) 合金的牌号、化学成分及性能.....433
(3) 磨损率411	(2) 合金显微组织433
6. 工艺性能.....412	(3) 物理性能434
(1) 铸造性能412	(4) 力学性能434
(2) 焊接性能414	(5) 铸造性能436
(3) 切削性能414	(6) 特点和应用436
7. 显微组织.....415	2. 铅基轴承合金.....436
8. 特点和用途.....417	(1) 概述436
二、铸造锌合金的熔炼和浇注419	(2) 铅铋轴承合金437
1. 熔炼用的金属材料和非金属材料.....419	(3) 铅钙钠轴承合金441
2. 熔炼工艺.....420	3. 锡基和铅基轴承合金的熔铸.....443
(1) 熔炼设备420	(1) 轴承钢壳的清洗与镀锡443
(2) 熔炼前的准备420	(2) 合金的熔炼445
(3) 配料420	(3) 合金的浇注447
(4) 熔炼操作要点421	4. 锡基和铅基合金轴承的质量检验和
3. 净化与变质处理.....421	合金的金相检验.....449
(1) 净化处理421	(1) 质量检验项目和方法449
(2) 变质处理421	(2) 金相检验449
4. 炉前检查.....421	5. 锡基和铅基合金轴承的铸造缺陷
(1) 温度测量421	分析.....450
(2) 化学成分分析421	6. 锡基和铅基轴承合金的回收.....450
(3) 炉前试验423	(1) 废料的分类450
5. 锌合金的浇注.....423	(2) 废料的重熔工艺450
三、铸造锌合金的热处理423	二、铝基轴承合金452
1. 稳定化处理 (低温时效)423	1. 铝基轴承合金的性能特点及分类.....452
2. 均匀化.....424	2. 铝锡轴承合金.....452
四、铸造锌合金的表面处理424	(1) 合金代号和化学成分452
1. 电镀.....424	(2) 显微组织和某些元素的作用453
(1) 零件表面准备424	(3) 物理性能453
(2) 电镀工艺参数425	(4) 力学性能453
2. 涂漆.....426	(5) 铸造性能455
3. 阳极化处理.....426	(6) 特点和应用455
五、锌合金铸件的质量控制426	3. 铝铋轴承合金.....455
1. 质量检查.....426	(1) 合金牌号和化学成分455
(1) 化学成分426	(2) 显微组织和元素作用455
(2) 力学性能427	(3) 物理性能456

(4) 力学性能	456	(6) 耐腐蚀性能	477
(5) 特点和应用	456	4. 力学性能	478
4. 铝-石墨轴承合金	456	(1) 技术标准中规定的性能	478
(1) 合金组织及特性	456	(2) 室温和高温瞬时性能	479
(2) 合金性能	457	(3) 高温持久性能	485
5. 铝基合金轴承的生产	459	(4) 高温蠕变性能	489
(1) 铝锡和铝铋合金轴承的生产	459	(5) 高温疲劳性能	491
(2) 铝-石墨轴承合金的熔铸	460	(6) 弹性性能	492
三、铜铅轴承合金	461	5. 工艺特性	493
1. 合金牌号及化学成分	461	6. 显微组织	494
2. 显微组织和元素作用	461	7. 特点和应用	497
3. 物理性能和耐蚀性能	463	二、合金的熔炼	497
(1) 物理性能	463	1. 母合金的制备	497
(2) 在某些介质中的腐蚀速度	463	(1) 准备工作	498
4. 力学性能	463	(2) 熔炼工艺	498
(1) 铅对力学性能的影响	463	(3) 回炉料的熔炼	500
(2) 硫和稀土对力学性能的影响	464	2. 母合金的重熔	501
(3) 技术标准规定的力学性能	465	(1) 准备工作	501
(4) 典型室温力学性能	465	(2) 重熔工艺	502
(5) 高温力学性能	466	3. 定向凝固	504
5. 工艺性能	467	三、合金的热处理	505
(1) 铸造性能	467	1. 热处理设备	506
(2) 焊接性能	467	2. 热处理工艺	506
6. 特点和应用	468	(1) 工艺参数	506
7. 合金的熔铸	468	(2) 操作要点	506
(1) 钢壳的清洗和涂挂硼砂	468	4. 热等静压处理	507
(2) 熔炼	468	5. 表面防护	507
(3) 浇注	469	四、质量控制和检验方法	508
8. 质量检验及缺陷分析	469	1. 质量检验方法	508
(1) 质量检验项目和方法	469	(1) 浮渣检验	508
(2) 铸造缺陷分析	470	(2) 化学分析	508
参考文献	470	(3) 力学性能测试	508
第八章 铸造高温合金	472	(4) 金相试验	509
一、合金牌号和性能	472	2. 常见的铸件缺陷及防止方法	509
1. 合金牌号和标准	472	参考文献	510
2. 化学成分	473	第九章 金属及非金属原材料	511
3. 物理和化学性能	475	一、纯金属	511
(1) 密度和熔化温度	475	二、非金属及辅助原材料	520
(2) 热导率	475	参考文献	528
(3) 线膨胀系数	476	第十章 非铁金属熔炼炉	529
(4) 比热容	476	一、对熔炼设备的要求、分类和	
(5) 抗氧化性能	477		

选用	529	(1) 概述	547
1. 对熔炼设备的基本要求	529	(2) 产品系列	547
2. 熔炼炉的分类和选用	529	4. 真空感应熔炼炉	550
二、电阻熔炼炉	530	(1) 概述	550
1. 电阻炉用主要材料	530	(2) 产品系列	551
2. 电气配套和温度控制	531	四、真空电弧炉	553
3. 电阻炉的技术发展趋势	531	1. 真空自耗电极电弧炉	553
4. 坩埚电阻炉	531	(1) 概述	553
(1) 概述	531	(2) 产品系列	554
(2) 产品系列	532	2. 真空自耗电极电弧凝壳炉	556
5. 反射电阻炉	535	(1) 概述	556
(1) 概述	535	(2) 产品系列	556
(2) 产品系列	535	五、火焰炉	557
6. 红外熔炼炉	536	1. 火焰反射炉	557
(1) 概述	536	(1) 熔炼铝的反射炉	557
(2) 产品系列	537	(2) 熔炼铜的反射炉	559
三、感应熔炼炉	538	(3) 产品系列	560
1. 工频无心感应熔炼炉	539	2. 燃料坩埚炉	561
(1) 概述	539	(1) 固定式坩埚炉	561
(2) 产品系列	542	(2) 倾动式坩埚炉	561
2. 工频有心感应熔炼炉	544	(3) 熔炼轻合金用的固定式保温炉	562
(1) 对熔炼设备的要求、分类和 选用	544	六、我国主要工业电炉生产厂家	563
(2) 产品系列	545	参考文献	565
3. 中频无心感应熔炼炉	547	附录	566

第一章 铸造非铁合金基础知识

一、元素的分类、物性与铸造非铁合金的概念

1. 元素的分类

元素周期表揭示出自然界物质形成的奥秘。在迄今已发现的105种元素(包括人造元素)中,按其物理化学性质分为:惰性元素(He、Ne、Ar、Kr、Xe和Rn,共6种)、非金属元素(B、C、Si、N、P、As、O、S、Se、Te、F、Cl、Br、I、At和H,共16种)和金属元素(其余的83种元素)。

金属元素根据其外观特征又分为两大类,即:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{黑色金属元素——Fe、Cr、Mn} \\ \text{非铁金属元素——黑色金属元素以外的金属元素} \end{array} \right.$$

由于习惯上认为黑色金属元素主要是指Fe元素,而有色金属元素则是指除Fe以外的其他金属元素,因此黑色金属元素也称铁属元素,有色金属元素也称为非铁金属元素。

按着元素的物理化学性质、资源、开发以及生产、应用等情况又可将非铁金属元素做如下分类:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{普通金属元素} \left\{ \begin{array}{l} \text{普通轻金属元素 } (\rho \leq 4.5 \text{Mg/m}^3): \text{Al、Mg、Na、Ca、K} \\ \text{普通重金属元素 } (\rho > 4.5 \text{Mg/m}^3): \text{Cu、Ni、Co、Pb、Zn、} \\ \text{Sn、Sb、Bi、Hg、Cd} \end{array} \right. \\ \text{贵金属元素: Au、Ag、Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt} \\ \text{稀有非铁元素} \left\{ \begin{array}{l} \text{稀有轻金属元素: Li、Be、Cs、Rb} \\ \text{稀有难熔金属元素 (熔点在1700℃以上): W、Mo、Ta、Nb、Ti、} \\ \text{Zr、Hf、V、Re} \\ \text{稀散金属元素: Ga、In、Tl、Ge} \\ \text{稀土金属元素: Sc、Y、La系} \\ \text{放射性金属元素: Fr、Ra、Tc、Po、Ac系} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

目前,工业上较常应用的非铁金属元素仅有十几种。

还应指出,某些非金属元素(如Si、Se、Te、As、B)的性质介于金属与非金属之间,因此有时又称之为半金属元素而被列入非铁金属元素之中。

2. 元素的物性值

一些元素的物性值如表 1-1 所示。

表1-1 一些元素的物性值

元素名称	原子序数	原子量	原子半径 (10^{-10}m)	晶型	原子间距 (最近的) (10^{-10}m)	密度 ρ (20°C) (Mg/m^3)	熔点 ($^\circ\text{C}$)	沸点 ($^\circ\text{C}$)	比热容 c (20°C) ($\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$)	熔解热 (kJ/kg)	线膨胀系数 α (20°C) ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	热导率 λ (20°C) ($\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$)	电阻率 ρ (20°C) ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	电阻温度 系数 (0°C) ($10^{-2}/^\circ\text{C}$)	标准电极电位 (V)	离子价
H	1	1.0079	0.37	六方		0.07/-252 $^\circ\text{C}$	-259.2	-252.8	1444.5	62.8	1300/-255 $^\circ\text{C}$	0.1700	—	—	0.000	H ⁺
He	2	4.00260	0.93	六方		-0.15/-269 $^\circ\text{C}$	-271.4	-268.9	5233.5	34.5	—	0.139	—	—	—	—
Li	3	6.941	1.515	体心立方	3.039	0.545	180	1329	3307.6	436	56	71.176	9.35	4.6	-3.01	Li ⁺
Be	4	9.0122	1.125	密排立方	2.225	1.85	1284	2400	1758.6	1088.6	11.57/ 25~100 $^\circ\text{C}$	221.9	3.8	6.7	-1.7	Be ²⁺
B	5	10.81	0.97 0.97	斜状立方 片状正斜晶	1.75	2.3	2050	2550	1293.7	—	8.3/20~750	—	1.8 $\times 10^{12}/0^\circ\text{C}$	—	-0.73	B ³⁺
C	6	12.011	0.77 0.77 0.77	立方(金刚石) 六方(石墨) 斜方(β石墨)	1.544	2.25(石墨)	5000	5000	890.8 (石墨)	—	6.6(石墨)	23.865	1400	0.6~1.2	—	—
N	7	14.0067	0.53	简单立方		0.81/-195 $^\circ\text{C}$	-209.9	-195.8	1034.1	26	500/-195 $^\circ\text{C}$	0.0251	—	—	-3.2	N ²⁻
O	8	15.9994	0.66	正交		1.13/-181 $^\circ\text{C}$	-218.8	-182.79	912.7	13.8	4100/-195 $^\circ\text{C}$	0.0247	—	—	+0.401	OH ⁻
F	9	18.9984	0.68			1.14/-200 $^\circ\text{C}$	-219.6	-188.1	753.6	42.3	3000/-200 $^\circ\text{C}$	—	—	—	+2.85	F ⁻
Ne	10	20.179	1.8	面心立方		1.2/-245 $^\circ\text{C}$	-284.7	-246.1	—	—	—	0.046	—	—	—	—
Na	11	22.9897	1.855	体心立方	3.715	0.97	97.7	882	1235.1	115	71	133.98	4.6	5.47	-2.1	Na ⁺
Mg	12	24.305	1.60	密排六方	3.196	1.74	649	1105	1046.7	368	26.0/ 0~100 $^\circ\text{C}$	159.1	3.9	4.1	-2.38	Mg ²⁺
Al	13	26.9815	1.428	面心立方	2.862	2.699	660.37	2500	929.5	396	22.41	217.71	2.63	4.23	-1.66	Al ³⁺
Si	14	28.086	1.08 1.175	面心 立方(金刚石型)	2.351	2.34	1414	3240	795.5/90 $^\circ\text{C}$ 678.3/0 $^\circ\text{C}$	1809	6.95	104.67/ 100 $^\circ\text{C}$	85 $\times 10^3$	0.8~1.8	—	—
P	15	30.9737		面心		1.82	44.1	280	741.1	20.9	125/6~40 $^\circ\text{C}$	—	1 $\times 10^7/11^\circ\text{C}$	-0.456	—	—
S	16	32.06	1.06	正交	2.04	2.05	119	444.6	732.7	38.9	64/40 $^\circ\text{C}$	0.2642	2 $\times 10^{22}$	—	-0.51	S ²⁻
Cl	17	35.453	1.07	斜方 正交(固态)		1.5/-33.6 $^\circ\text{C}$	-101	-34.1	485.7	90.4	1500/-34 $^\circ\text{C}$	0.0072	1 $\times 10^9/-70^\circ\text{C}$	—	+1.385	Cl ⁻
Ar	18	39.948	1.92	面心		1.89/-183 $^\circ\text{C}$	-18.3	-185.8	523.4	28.1	—	0.17	—	—	—	—