

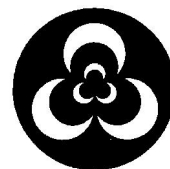
有色金属材料手册Ⅱ

黄伯云 李成功 石力开 邱冠周 左铁镛 主编

YOUSE
JINSHU
CAILIAO
SHOUCE



化学工业出版社



有色金属材料手册

[上]

黄伯云 李成功 石力开 邱冠周 左铁镛 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《有色金属材料手册》是有色金属材料及其应用方面的大型工具书。分篇介绍了铝及铝合金, 镁及镁合金, 铜及铜合金, 镍、钴及其合金, 锌、铅、锡及其合金, 钛及钛合金, 钨、钼及其合金, 硬质合金, 钽、铌及其合金材料, 铍、锆、钨及其合金材料, 贵金属及其合金材料, 有色金属层状复合材料, 有色金属新材料。本书具有数据详细、齐全、新颖以及实用性和先进性等特点。对广大科技人员如何正确选材, 合理用材, 尽可能挖掘材料使用性能的潜力, 提高材料利用率和循环使用率, 以节约材料、节约能源, 保证国民经济的可持续发展, 有十分重要的现实意义。

本书可供制造业和其他相关行业的工程技术人员、管理人员以及材料科学与工程专业的师生查阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

有色金属材料手册. 上/黄伯云等主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-122-05341-1

I. 有… II. 黄… III. 有色金属-金属材料-技术手册
IV. TG146-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057713 号

责任编辑: 周国庆 段志兵
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京蓝海印刷有限公司
装 订: 三河市前程装订厂
880mm×1230mm 1/16 印张 48½ 字数 2227 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 150.00 元

版权所有 违者必究

目 录

第1篇 概论..... 1

1 有色金属材料在国民经济建设中的作用和地位	3
1.1 有色金属材料在国防现代化建设中起着关键作用	3
1.2 有色金属材料与高新技术的发展息息相关	4
1.3 有色金属材料是国民经济各部门发展的物质基础,也对保证国民经济可持续发展起重大作用	4
1.4 有色金属材料与人民生活是密切相关的	5
2 有色金属材料发展现状	5
2.1 世界有色金属发展概况	5
2.2 我国有色金属材料发展现状	6
参考文献	7

第2篇 铝及铝合金..... 9

第1章 概述..... 11

1 电解铝(原铝)生产	11
2 国内外铝的产量及消费量	12
2.1 世界原铝供应及消费情况	12
2.2 国内原铝供应及消费情况	12
3 铝的性质及用途	13
3.1 铝的性质	13
3.2 铝的用途(消费结构)	13
4 铝及铝合金分类	13
4.1 根据相图分类	13
4.2 工业纯铝	14
4.3 变形铝合金	14
4.4 变形铝及铝合金的特点和用途	14
5 变形铝及铝合金牌号表示方法 (GB/T 16474—1996)	15
6 变形铝及铝合金状态代号 (GB/T 16475—1996)	15
6.1 变形铝及铝合金状态代号	15
6.2 原状态代号与新状态代号对照	17
7 铝及铝合金化学成分	17
7.1 合金元素和杂质	17
7.2 变形铝及铝合金化学成分 (GB/T 3190—1996)	18
7.3 原牌号与新牌号对照	24
8 铝材品种	25
9 变形铝及铝合金的性能比较和用途	26
10 国内外牌号对照	28
11 变形铝及铝合金材料生产、检测用标准	30
11.1 基础标准	30
11.2 产品标准	31
11.3 环保标准	31
11.4 原辅材料等相关产品标准	31
11.5 检测方法标准	31

第2章 变形铝及铝合金生产..... 33

1 概述	33
2 熔炼和铸锭	33

2.1 熔炼	33
2.2 铸锭	34
3 压力加工	34
3.1 板材、带材和箔材轧制	34
3.2 型材、棒材、管材挤压	35
3.3 拉制	35
3.4 锻造	37
4 热处理	38
4.1 均匀化退火	38
4.2 回复及再结晶退火	38
4.3 淬火(固溶处理)及时效	40
4.4 形变热处理	41
4.5 铝材状态与生产工艺的关系	41
5 机械加工	42
5.1 可切削加工性能	42
5.2 可切削加工特点	42
5.3 典型切削条件及数据	42
6 铝结构与制品加工	44
6.1 冲压成形	44
6.2 联接	45
7 铝及铝合金的腐蚀及防护	47
7.1 一般腐蚀特点	47
7.2 变形铝合金的抗蚀性	47
7.3 铝及铝合金的腐蚀控制与防护	47
7.4 变形铝及铝合金的性能比较	48
第3章 纯铝..... 49	
1 铝的性能	49
1.1 物理性能	49
1.2 力学性能	49
1.3 化学性能	49
2 杂质元素的影响	49
第4章 1×××系铝合金..... 52	
1 概述	52
2 合金各论	52
2.1 1199 合金	52
2.2 1060 合金	52
2.3 1050 合金	53
2.4 1100 合金	54
2.5 1145 合金	55
2.6 1350 合金	56
第5章 2×××系铝合金..... 58	
1 概述	58
2 合金各论	58
2.1 2A01 合金	58
2.2 2A02 合金	59
2.3 2A10 合金	61
2.4 2A11 合金	62
2.5 2A12 合金	64
2.6 2A14 合金	68
2.7 2A16 合金	70
2.8 2B16 合金	72
2.9 2A50 合金	74
2.10 2B50 合金	75
2.11 2A70 合金	76

2.12 2014 合金	77	3.1 概述	126
2.13 2024 和 2124 合金	78	3.2 合金各论	126
第 6 章 3××× 系铝合金	81	第 12 章 铸造铝合金	128
1 概述	81	1 概述	128
2 合金各论	81	1.1 标示	128
2.1 3003 合金	81	1.2 铸造铝合金的分类和化学成分	128
2.2 3004 合金	82	1.3 铸造铝合金各国牌号对照	128
2.3 3A21 合金	83	1.4 铸造铝合金的性能	128
第 7 章 4××× 系铝合金	85	1.5 铸造铝合金的重要特点及用途	133
1 概述	85	2 铸造铝合金物理冶金基础	136
2 合金各论	85	2.1 铝硅系铸造铝合金	136
2.1 4032 (4A11) 合金	85	2.2 铝铜系铸造铝合金	138
2.2 4043 (4A01) 合金	86	2.3 铝镁系铸造铝合金	141
2.3 4343 (4A13) 合金	86	2.4 铝锌系铸造铝合金	142
2.4 4047 (4A17) 合金	87	3 铸造铝合金生产	142
第 8 章 5××× 系铝合金	88	3.1 熔炼基本原理	142
1 概述	88	3.2 铸造铝合金生产	145
2 合金各论	88	3.3 熔炼与浇注	151
2.1 5005 合金	88	4 铸件热处理	154
2.2 5050 合金	89	4.1 铸造铝合金热处理状态及代号	154
2.3 5052 (5A02) 合金	89	4.2 热处理原理	154
2.4 5056 合金	90	4.3 铸造铝合金常用的热处理工艺	158
2.5 5083 合金	91	4.4 热处理设备	159
2.6 5086 合金	92	4.5 热处理缺陷及其防止方法	159
2.7 5154 (5A03) 合金	93	参考文献	161
2.8 5182 合金	93	第 3 篇 镁及镁合金	163
2.9 5454 合金	94	第 1 章 概述	165
2.10 5456 (5A05) 合金	95	第 2 章 纯镁的特性及合金化	173
第 9 章 6××× 系铝合金	96	1 纯镁的特性	173
1 概述	96	2 镁的合金化	173
2 合金各论	96	2.1 镁的合金化一般规律	173
2.1 6005 合金	96	2.2 合金元素在镁中的固溶度	174
2.2 6010 合金	96	2.3 合金化元素的影响	175
2.3 6061 合金	97	2.4 相图	177
2.4 6063 合金	98	2.5 镁合金的热处理	178
2.5 6070 合金	99	第 3 章 铸造镁合金	179
2.6 6101 合金	99	1 不含锆的铸造镁合金	179
2.7 6151 合金	100	1.1 Mg-Al 系合金	179
2.8 6351 合金	100	1.2 Mg-Zn-Cu 系合金	184
2.9 6201 合金	101	2 含锆的镁合金	184
2.10 6205 合金	101	2.1 Mg-Zn-Zr 系合金	185
2.11 6A02 合金	101	2.2 Mg-RE-Zr 系合金	185
第 10 章 7××× 系铝合金	105	2.3 其他含锆镁合金系的特性	188
1 概述	105	3 镁合金的熔炼铸造工艺	188
2 合金各论	105	第 4 章 变形镁合金	190
2.1 7A05、7005 合金	105	1 Mg-Mn 系合金	191
2.2 7A31 合金	106	2 Mg-Al-Zn 系合金	191
2.3 7050 合金	107	3 Mg-Zn-Zr 系合金	196
2.4 7075、7A09 合金	110	4 Mg-RE 系合金	197
2.5 7475 合金	111	5 Mg-Li 系合金	197
2.6 7A04 合金	115	6 快速凝固变形镁合金	198
第 11 章 新型变形铝合金	118	6.1 快速凝固工艺开发变形镁合金的原理	199
1 Al-Li 系铝合金	118	6.2 变形镁合金快速凝固工艺及其典型合金性能	200
1.1 概述	118	7 镁合金的超塑性变形	201
1.2 合金各论	118	第 5 章 镁的腐蚀与保护	203
2 Al-Sc 系铝合金	124	1 镁的化学特性	203
2.1 概述	124	2 镁的腐蚀类型	203
2.2 合金各论	124		
3 Al-Fe-V 系铝合金	126		

2.1 钝化行为	203	5.2 物理性能	241
2.2 化学腐蚀	203	5.3 力学性能	242
2.3 小孔腐蚀	203	5.4 工艺性能	242
2.4 电偶腐蚀	203	5.5 电解铜箔的主要工艺参数	242
2.5 其他腐蚀形式	204	5.6 电解铜箔的生产工艺	242
3 影响镁和镁合金腐蚀的因素	204	5.7 我国电解铜箔业的发展简介	244
3.1 杂质对镁和镁合金耐蚀性的影响	204	第3章 高强导电铜合金	245
3.2 热处理、晶粒大小和冷加工对镁耐蚀性的影响	204	1 铬青铜	245
3.3 环境因素	205	1.1 铬青铜的化学成分	245
4 镁合金的应力腐蚀与控制	206	1.2 铬青铜的物理及化学性能	245
4.1 镁合金的应力腐蚀	206	1.3 铬青铜的热加工与热处理规范	246
4.2 镁合金应力腐蚀的控制方法	206	1.4 铬青铜的力学性能	246
5 镁合金腐蚀的防护技术	206	1.5 铬青铜的工艺性能	247
5.1 提高镁合金的纯度	206	1.6 铬青铜的选材与应用实例	247
5.2 添加特殊的合金化元素	207	2 锆青铜	247
5.3 快速凝固处理 (RSP)	207	2.1 锆青铜 QZr0.2 和锆青铜 QZr0.4	248
5.4 合理的热处理制度	207	2.2 锆青铜 C15000	251
5.5 镁合金的表面处理	207	2.3 锆青铜 C15100	252
6 镁合金构件的连接	211	2.4 锆青铜的工艺性能	252
6.1 镁合金与镁合金的连接	211	2.5 锆青铜的应用	252
6.2 镁合金构件与非金属材料的连接	211	3 铬锆青铜	252
6.3 镁与异种金属的装配	211	3.1 化学成分	252
6.4 紧固件的选择	212	3.2 铬锆青铜的物理性能和化学性能	252
参考文献	213	3.3 热加工与热处理规范	252
第4篇 铜及铜合金	215	3.4 力学性能	253
第1章 概述	217	3.5 工艺性能	253
第2章 高导电高导热铜及铜合金	219	3.6 铬锆青铜的选材与应用实例	253
1 普通纯铜	219	4 铁青铜	253
1.1 化学成分	219	4.1 铁青铜 QFe1.0 (C19200)	253
1.2 物理及化学性能	219	4.2 铁青铜 C19210	254
1.3 热加工与热处理规范	222	4.3 铁青铜 QFe2.5 (C19400)	254
1.4 力学性能	222	4.4 铁青铜 C19500	255
1.5 工艺性能	228	4.5 铁青铜 C19520	255
1.6 选材与应用实例	229	4.6 铁青铜 C19700	255
2 磷脱氧铜	230	5 镍硅青铜	256
2.1 化学成分	230	5.1 镍硅青铜的化学成分	256
2.2 物理及化学性能	230	5.2 物理性能	256
2.3 热加工与热处理规范	231	5.3 热加工与热处理规范	256
2.4 力学性能	231	5.4 力学性能	256
2.5 工艺性能	233	5.5 镍硅青铜的应用实例	256
2.6 选材与应用实例	233	6 镉青铜	256
3 无氧铜	233	6.1 镉青铜的化学成分	257
3.1 化学成分	234	6.2 物理及化学性能	257
3.2 物理及化学性能	234	6.3 热加工与热处理规范	257
3.3 热加工与热处理规范	234	6.4 镉青铜的力学性能	257
3.4 力学性能	234	6.5 镉青铜的工艺性能	258
3.5 工艺性能	237	6.6 镉青铜的应用实例	259
3.6 无氧铜的选材与应用实例	237	7 镁青铜	259
4 弥散强化无氧铜	237	7.1 镁青铜的化学成分	259
4.1 化学成分	237	7.2 物理及化学性能	259
4.2 物理及化学性能	238	7.3 镁青铜的热加工与热处理规范	259
4.3 热加工和热处理规范	238	7.4 镁青铜的力学性能	259
4.4 力学性能	238	7.5 镁青铜的工艺性能	259
4.5 工艺性能	241	7.6 镁青铜的选材与应用实例	259
4.6 选材与应用实例	241	8 Cu-Ag-Zr 合金	259
5 电解铜箔	241	8.1 合金的化学成分	260
5.1 化学成分	241	8.2 物理及化学性能	260
		8.3 力学性能	260
		8.4 工艺性能	260

8.5 热加工与热处理规范	260	1.1 铍青铜加工材的化学成分	274
8.6 应用实例	260	1.2 物理与化学性能	274
9 钴铬硅青铜	260	1.3 铍青铜加工材的热加工与热处理规范	276
9.1 合金的化学成分	260	1.4 铍青铜加工材的力学性能与工艺性能	276
9.2 物理及化学性能	261	1.5 铍青铜加工材选用实例	277
9.3 热加工与热处理规范	261	2 铸造铍青铜	282
9.4 力学性能	261	2.1 铸造铍青铜的化学成分	282
9.5 工艺性能	262	2.2 铸造铍青铜的物理性质	282
9.6 应用实例	262	2.3 铸造铍青铜的耐蚀性能	283
第4章 结构黄铜	263	2.4 铸造铍青铜的热处理规范	283
1 普通黄铜	263	2.5 铸造铍青铜的力学性能	284
1.1 合金牌号、特点和应用	263	2.6 铸造铍青铜的工艺性能	285
1.2 化学成分	263	2.7 铸造铍青铜的选材和应用	285
1.3 物理及化学性能	263	3 锡磷青铜	285
1.4 热加工和热处理规范	265	3.1 化学成分	286
1.5 力学性能	265	3.2 物理及化学性能	286
1.6 工艺性能	266	3.3 热加工与热处理规范	287
2 铅黄铜	267	3.4 力学性能	287
2.1 合金牌号、特点和应用	267	3.5 工艺性能	294
2.2 化学成分	267	3.6 选材和应用实例	294
2.3 物理及化学性能	267	4 硅青铜	295
2.4 热加工与热处理规范	268	4.1 化学成分	295
2.5 力学性能	268	4.2 物理及化学性能	295
2.6 工艺性能	268	4.3 热加工和热处理规范	296
3 锡黄铜	268	4.4 力学性能	296
3.1 合金牌号、特点和应用	268	4.5 工艺性能	298
3.2 化学成分	269	4.6 选材与应用实例	298
3.3 物理及化学性能	269	5 铜镍锡与铜镍铝合金	299
3.4 热加工和热处理规范	269	5.1 化学成分	299
3.5 力学性能	269	5.2 物理及化学性能	299
3.6 工艺性能	269	5.3 热加工及热处理规范	299
4 铁黄铜	269	5.4 力学性能	299
4.1 合金牌号、特点和应用	269	5.5 工艺性能	302
4.2 化学成分	269	5.6 选材与应用实例	302
4.3 物理和化学性能	270	6 钛青铜	302
4.4 热加工和热处理规范	270	6.1 化学成分	303
4.5 力学性能	270	6.2 物理及化学性能	303
4.6 工艺性能	270	6.3 热加工及热处理规范	303
5 铝黄铜	270	6.4 力学性能	303
5.1 合金牌号、特点和应用	270	6.5 工艺性能	305
5.2 化学成分	270	6.6 选材和应用实例	305
5.3 物理和化学性能	270	第6章 高强度热稳定铜合金	306
5.4 热加工和热处理规范	271	1 铝青铜	306
5.5 力学性能	271	1.1 铝青铜 QA19-2	306
5.6 工艺性能	271	1.2 铝青铜 QA19-4	308
6 锰黄铜	271	1.3 铝青铜 QA110-3-1.5	309
6.1 合金牌号、特点和应用	271	1.4 铝青铜 QA110-4-4	311
6.2 化学成分	271	1.5 铝青铜 QA111-6-6	313
6.3 物理和化学性能	271	1.6 铸造铝青铜 ZCuAl10Fe3	314
6.4 热加工和热处理规范	271	2 其他高强度热稳定铜合金	316
6.5 力学性能	272	2.1 硅青铜 QSi1-3	316
6.6 工艺性能	272	2.2 锰黄铜 HMn60-3-1-0.75	317
7 硅黄铜	272	第7章 耐磨铜合金	319
7.1 牌号和化学成分	272	1 耐磨锡青铜	319
7.2 其他性能	272	1.1 锡青铜 QSn4-4-2.5	319
7.3 热加工规范	272	1.2 锡青铜 QSn4-4-4	320
8 镍黄铜	272	1.3 铸造锡青铜 ZCuSn5Zn5Pb5	321
第5章 高弹性铜合金	274	1.4 铸造锡青铜 ZCuSn6Zn6Pb3	322
1 铍青铜加工材	274	1.5 铸造锡青铜 ZCuSn10P1	323

1.6 铸造锡青铜 ZCuSn10Zn2	324	2 纯镍的物理性能	357
2 铅青铜	325	3 纯镍的力学性能	358
2.1 铸造铅青铜 ZCuPb10Sn10	325	4 纯镍的化学性能	360
2.2 铸造铅青铜 ZCuPb25Sn5	326	5 镍的用途	361
3 汽车同步器齿环用耐磨铜合金简介	327	6 镍合金的特性与分类	361
3.1 牌号和化学成分	327	第2章 耐腐蚀镍合金	362
3.2 力学性能	328	1 概述	362
3.3 工艺性能	328	2 镍铜系耐蚀合金	362
第8章 耐蚀铜合金	329	2.1 镍铜系耐蚀合金的牌号与成分	362
1 白铜	329	2.2 镍铜系耐蚀合金的物理性能	363
1.1 白铜的牌号和分类	329	2.3 镍铜系耐蚀合金的力学性能	363
1.2 化学成分	329	2.4 镍铜系耐蚀合金的耐蚀性能	365
2 普通白铜	330	2.5 镍铜系耐蚀合金的工艺性能及加工热处理工艺	367
2.1 化学成分	330	2.6 镍铜系铸造耐蚀合金	368
2.2 物理及化学性能	330	2.7 镍铜系耐蚀合金的典型应用举例	368
2.3 力学性能	331	3 镍铬系耐蚀合金	368
3 锌白铜	333	3.1 镍铬系耐蚀合金的牌号与成分	368
3.1 化学成分	333	3.2 镍铬系耐蚀合金的物理性能	368
3.2 物理性能	333	3.3 镍铬系耐蚀合金的力学性能	369
3.3 力学性能	333	3.4 镍铬耐蚀合金的耐腐蚀性能	370
4 铁白铜	334	3.5 铸造镍铬耐蚀合金	371
4.1 化学成分	334	4 镍钼系耐蚀合金	371
4.2 物理及化学性能	334	4.1 镍钼系耐蚀合金的牌号与化学成分	371
4.3 热加工及热处理规范	335	4.2 镍钼系耐蚀合金的物理性能与力学性能	371
4.4 力学性能	335	4.3 镍钼系耐蚀合金的抗腐蚀性能	372
4.5 工艺性能	338	4.4 镍钼系耐蚀合金的工艺性能	372
4.6 选材与应用实例	339	4.5 铸造镍钼系耐蚀合金	373
5 锰白铜	339	5 镍铬钼系耐蚀合金	373
5.1 物理性能	339	5.1 镍铬钼系耐蚀合金的牌号与化学成分	373
5.2 化学性能	340	5.2 镍铬钼系耐蚀合金的物理性能	373
5.3 力学性能	340	5.3 镍铬钼系耐蚀合金的力学性能	373
5.4 工艺性能	341	5.4 镍铬钼系耐蚀合金的耐蚀性能	374
第9章 艺术铜合金和形状记忆合金	342	5.5 镍铬钼系耐蚀合金的工艺性能	375
1 艺术铜合金	342	5.6 铸造镍铬钼系耐蚀合金	375
1.1 紫铜	342	5.7 镍铬钼系耐蚀合金的典型应用举例	375
1.2 黄铜	342	6 镍铬钼铜系耐蚀合金	375
1.3 青铜	342	7 铁镍基耐蚀合金简介	376
1.4 白铜	344	第3章 镍基高温合金	378
2 形状记忆合金简介	344	1 概述	378
2.1 铜基形状记忆合金种类	345	2 镍基变形高温合金	378
2.2 部分铜基形状记忆合金的性能	345	2.1 固溶强化型镍基变形高温合金	378
2.3 铜基形状记忆合金的工艺性能	345	2.2 沉淀强化型镍基变形高温合金	378
2.4 铜基形状记忆合金的应用	346	3 镍基铸造高温合金	383
第10章 加工铜及铜合金牌号、标准对比	348	3.1 普通等轴晶镍基铸造高温合金	383
1 加工铜及铜合金牌号的表示方法	348	3.2 定向凝固镍基铸造高温合金	385
1.1 中国	348	3.3 单晶镍基高温合金	387
1.2 国际标准化组织	348	3.4 定向凝固镍基共晶高温合金简介	388
1.3 德国	348	4 粉末冶金镍基高温合金简介	388
1.4 美国	349	4.1 蜗轮盘用粉末冶金镍基高温合金	388
1.5 日本	349	4.2 氧化物弥散强化镍基高温合金	389
1.6 英国	349	5 民用镍基高温合金	389
1.7 法国	350	5.1 工业燃气轮机用耐热腐蚀镍基高温合金	389
1.8 俄罗斯	350	5.2 内燃机增压涡轮及阀座用镍基高温合金	390
2 加工铜及铜合金牌号的对照	350	5.3 喷吹离心玻璃棉的离心器用镍基高温合金	390
参考文献	354	6 Ni ₃ Al 基高温合金	391
第5篇 镍、钴及其合金	355	第4章 镍基电阻合金	392
第1章 镍及镍合金概述	357	1 概述	392
1 纯镍中的杂质与纯镍的牌号	357	2 镍基高电阻电热合金	392

2.1 镍基高电阻电热合金的牌号与化学成分	392	1.1 锌的资源及冶炼	431
2.2 镍基高电阻电热合金的物理性能	392	1.2 锌的生产量与消费量	432
2.3 镍基高电阻电热合金的力学性能与工艺性能	394	1.3 锌的应用	432
3 仪器仪表用镍基精密电阻合金	394	2 锌及其合金的物理冶金基础	433
3.1 精密电阻合金的牌号与化学成分	394	2.1 纯锌	433
3.2 镍基精密电阻合金的物理性能及力学性能	395	2.2 合金元素的作用	434
4 电阻应变计用镍基电阻合金	396	2.3 杂质的影响	436
5 镍基电阻合金发展动向	397	3 铸造锌合金	437
第5章 镍基软磁合金	398	3.1 铸造锌合金的牌号、成分及性能	437
1 概述	398	3.2 压力铸造锌合金	441
2 高磁导率软磁合金	398	3.3 重力铸造锌合金	444
2.1 高磁导率软磁合金的牌号与化学成分	398	4 变形锌合金	448
2.2 高磁导率软磁合金的性能	398	4.1 锌及锌合金的塑性变形	448
3 耐磨高磁导软磁合金	400	4.2 变形锌合金的成分和性能	448
3.1 耐磨高磁导合金的牌号与化学成分	400	4.3 变形锌合金的分类及用途	451
3.2 耐磨高磁导合金的性能	400	5 镀层用锌合金	455
3.3 耐磨高磁导合金的热处理制度	402	5.1 热镀锌合金	455
4 矩磁合金	403	5.2 电镀锌合金	455
4.1 矩磁合金的牌号与成分	403	5.3 热喷涂(镀)	455
4.2 矩磁合金的性能	403	5.4 渗锌(镀)	455
5 中磁导中磁饱和软磁合金	404	5.5 机械镀锌	455
6 恒磁导率软磁合金	406	6 其他锌合金	456
7 磁温度补偿软磁合金	406	6.1 减振锌合金	456
8 磁致伸缩合金	407	6.2 耐磨锌合金	456
第6章 其他镍基功能材料	408	6.3 离心铸造锌合金	456
1 电真空用镍及镍合金	408	6.4 成形模具锌合金	457
2 热电偶用镍合金	410	6.5 凝壳铸造锌合金	457
2.1 镍基热电极合金的化学成分	410	7 锌合金熔炼与浇注	457
2.2 镍铬-镍硅(或镍锰)热电偶合金的特性	411	7.1 熔炼与浇注知识基础	457
2.3 镍铬硅-镍硅镁热电偶合金的特性	411	7.2 熔炼与浇注	460
2.4 改良型镍铬-镍硅热电偶合金的特性	412	7.3 铸造缺陷分析	462
2.5 镍钴-镍铝热电偶	413	7.4 锌的废品回收与再利用	462
3 镍基弹性合金	413	第2章 铅及其合金	464
3.1 镍基高导电高弹性合金——镍铍合金	413	1 概述	464
3.2 镍基高温高弹性合金	414	1.1 铅资源与铅的冶炼	464
3.3 镍基耐蚀高弹性合金	415	1.2 铅的产量及消费量	464
4 镍基膨胀合金	415	2 铅及其合金的物理冶金基础	465
5 火花塞电极镍合金	416	2.1 纯铅	465
6 人造金刚石触媒用镍合金	416	2.2 铅合金物理冶金基础	466
第7章 钴及钴合金	417	3 铸造铅合金	471
1 概述	417	3.1 铸造铅铋合金	471
2 钴基高温合金	417	3.2 铸造铅钙合金	472
2.1 变形钴基高温合金	417	4 变形铅及铅合金	473
2.2 钴基铸造高温合金	419	4.1 变形铅的牌号、成分和用途	473
3 钴基磁性材料	419	4.2 变形铅铋合金	473
3.1 稀土钴(RCo)永磁合金	419	4.3 硬铅和特硬铅	475
3.2 钴基非晶态磁性材料	419	4.4 变形 Pb-Ca-Sn 合金	475
3.3 钴基磁记录材料简介	421	4.5 变形 Pb-Ag 合金	475
4 钴基弹性合金	421	5 蓄电池用铅合金	476
4.1 钴基高弹性合金	421	6 铅及其合金生产知识基础	479
4.2 钴基高温高弹性合金	422	6.1 熔炼与铸造	479
4.3 钴基恒弹性合金	422	6.2 精铅熔铸时配制铅合金	480
4.4 钴基高导电弹性合金	424	6.3 铅合金的塑性加工	480
5 钴基轴尖合金	424	7 铅的废品回收与再利用	480
6 钴基耐蚀合金	425	第3章 锡及其合金	481
参考文献	427	1 概述	481
第6篇 锌、铅、锡及其合金	429	1.1 锡的资源与锡的冶炼	481
第1章 锌及其合金	431	1.2 锡的生产量与消费量	482
1 概述	431	2 锡及其合金的物理冶金基础	482

2.1 纯锡	482	5.2 物理及化学性能	530
2.2 锡合金	483	5.3 相变及显微组织	531
3 锡及其合金成分、性能与用途	483	5.4 力学性能	531
3.1 纯锡	483	5.5 制造工艺和性能	532
3.2 锡合金	484	5.6 选材及应用	533
4 锡的废料回收与再利用	484	6 TA10 钛合金	533
第4章 轴承合金、焊料及易熔合金	485	6.1 化学成分	533
1 铅基和锡基轴承合金	485	6.2 物理及化学性能	533
1.1 概述	485	6.3 相变及显微组织	535
1.2 铅基轴承合金	486	6.4 力学性能	535
1.3 锡基轴承合金	488	6.5 制造工艺和性能	537
1.4 铅基和锡基轴瓦的熔铸工艺要点	491	6.6 选材及应用	537
2 锡铅焊料	492	7 TA11 钛合金	537
2.1 概述	492	7.1 化学成分	537
2.2 软焊料成分、组织和性能	492	7.2 物理及化学性能	537
2.3 锡铅焊料	493	7.3 相变及显微组织	538
3 易熔合金	495	7.4 力学性能	538
3.1 概述	495	7.5 制造工艺和性能	539
3.2 易熔合金的物理冶金基础	496	7.6 选材及应用	539
3.3 易熔合金	497	8 TA12 钛合金	539
参考文献	498	8.1 化学成分	539
第7篇 钛及钛合金	499	8.2 物理及化学性能	540
第1章 概述	503	8.3 相变及显微组织	540
1 钛的基本性能	503	8.4 力学性能	540
2 常用钛及钛合金的分类、牌号、特点与应用	504	8.5 制造工艺和性能	545
3 钛及钛合金的生产及工艺流程	509	8.6 选材及应用	545
4 钛及钛合金的应用与发展	511	9 TA18 钛合金	546
第2章 工业纯钛、α和近α型钛合金	513	9.1 化学成分	546
1 工业纯钛 TA0、TA1、TA2、TA3	513	9.2 物理及化学性能	546
1.1 化学成分	513	9.3 相变及显微组织	546
1.2 物理及化学性能	513	9.4 力学性能	547
1.3 相变及显微组织	515	9.5 制造工艺和性能	548
1.4 力学性能	515	9.6 选材及应用	549
1.5 制造工艺和性能	518	10 TA19 钛合金	550
1.6 选材及应用	519	10.1 化学成分	550
2 TA5 钛合金	520	10.2 物理及化学性能	550
2.1 化学成分	520	10.3 相变及显微组织	551
2.2 物理及化学性能	520	10.4 力学性能	551
2.3 相变及显微组织	520	10.5 制造工艺和性能	554
2.4 力学性能	521	10.6 选材及应用	555
2.5 制造工艺和性能	522	11 TA21 钛合金	555
2.6 选材及应用	523	11.1 化学成分	555
3 TA7 (TA7ELI) 钛合金	523	11.2 物理及化学性能	555
3.1 化学成分	523	11.3 相变及显微组织	556
3.2 物理及化学性能	523	11.4 力学性能	556
3.3 相变及显微组织	523	11.5 制造工艺和性能	557
3.4 力学性能	523	11.6 选材及应用	558
3.5 制造工艺和性能	526	12 TC1 钛合金	558
3.6 选材及应用	527	12.1 化学成分	558
4 TA9 钛合金	527	12.2 物理及化学性能	558
4.1 化学成分	527	12.3 相变及显微组织	558
4.2 物理及化学性能	527	12.4 力学性能	558
4.3 相变及显微组织	529	12.5 制造工艺和性能	560
4.4 力学性能	529	12.6 选材及应用	561
4.5 制造工艺和性能	529	13 TC2 钛合金	562
4.6 选材及应用	530	13.1 化学成分	562
5 TA16 钛合金	530	13.2 物理及化学性能	562
5.1 化学成分	530	13.3 相变及显微组织	563
		13.4 力学性能	563

13.5 制造工艺和性能	565	4 TC16 钛合金	616
13.6 选材及应用	566	4.1 化学成分	616
14 TA15 (TA15-1、15-2) 钛合金	566	4.2 物理及化学性能	617
14.1 化学成分	566	4.3 相变及显微组织	617
14.2 物理及化学性能	567	4.4 力学性能	617
14.3 相变及显微组织	567	4.5 制造工艺和性能	618
14.4 力学性能	568	4.6 选材及应用	620
14.5 制造工艺和性能	574	5 TC17 钛合金	620
14.6 选材及应用	576	5.1 化学成分	620
15 TC20 钛合金	577	5.2 物理及化学性能	620
15.1 化学成分	577	5.3 相变及显微组织	620
15.2 物理及化学性能	577	5.4 力学性能	620
15.3 相变及显微组织	577	5.5 制造工艺和性能	622
15.4 力学性能	578	5.6 选材及应用	623
15.5 制造工艺和性能	578	6 TC18 钛合金	623
15.6 材料选择和临床应用	578	6.1 化学成分	623
16 Ti-31 钛合金	579	6.2 物理及化学性能	624
16.1 化学成分	579	6.3 相变及显微组织	624
16.2 物理及化学性能	579	6.4 力学性能	624
16.3 相变及显微组织	579	6.5 制造工艺和性能	625
16.4 力学性能	579	6.6 选材及应用	626
16.5 制造工艺和性能	581	7 TC19 钛合金	626
16.6 选材及应用	581	7.1 化学成分	626
17 Ti75 钛合金	582	7.2 物理及化学性能	626
17.1 化学成分	582	7.3 相变及显微组织	627
17.2 物理及化学性能	582	7.4 力学性能	627
17.3 相变及显微组织	582	7.5 制造工艺和性能	629
17.4 力学性能	583	7.6 选材及应用	630
17.5 制造工艺和性能	583	8 TC21 钛合金	630
17.6 选材及应用	583	8.1 化学成分	630
18 Ti53311S 钛合金	583	8.2 物理及化学性能	630
18.1 化学成分	584	8.3 力学性能	630
18.2 物理及化学性能	584	8.4 制造工艺性能	631
18.3 相变及显微组织	584	8.5 选材及应用	631
18.4 力学性能	584	9 Ti451 钛合金	631
18.5 制造工艺和性能	584	9.1 化学成分	631
18.6 选材及应用	584	9.2 物理及化学性能	631
第3章 α - β 型钛合金	585	9.3 相变	631
1 TC4 (TC4ELI) 钛合金	585	9.4 力学性能	631
1.1 化学成分	585	9.5 制造工艺和性能	632
1.2 物理及化学性能	585	9.6 选材及应用	632
1.3 相变及显微组织	586	10 ZTC3 钛合金	633
1.4 力学性能	586	10.1 化学成分	633
1.5 制造工艺和性能	593	10.2 物理及化学性能	633
1.6 选材及应用	595	10.3 相变及显微组织	633
2 TC6 钛合金	596	10.4 力学性能	634
2.1 化学成分	596	10.5 制造工艺性能	635
2.2 物理及化学性能	597	10.6 选材及应用	636
2.3 相变及显微组织	597	11 ZTC4 钛合金	636
2.4 力学性能	597	11.1 化学成分	636
2.5 制造工艺和性能	602	11.2 物理及化学性能	636
2.6 选材及应用	605	11.3 相变及显微组织	636
3 TC11 钛合金	605	11.4 力学性能	637
3.1 化学成分	605	11.5 制造工艺和性能	639
3.2 物理及化学性能	605	11.6 选材及应用	640
3.3 相变及显微组织	606	12 ZTC5 钛合金	641
3.4 力学性能	607	12.1 化学成分	641
3.5 制造工艺和性能	614	12.2 物理及化学性能	641
3.6 选材及应用	616	12.3 相变及显微组织	641

12.4	力学性能	641	8.6	选材及应用	692
12.5	制造工艺性能	643	9	Ti40 钛合金	692
12.6	选材及应用	643	9.1	化学成分	692
第4章 β 和近 β 型钛合金		644	9.2	物理及化学性能	693
1	TB2 钛合金	644	9.3	相变及显微组织	693
1.1	化学成分	644	9.4	力学性能	693
1.2	物理及化学性能	644	9.5	热处理工艺	693
1.3	相变及显微组织	644	9.6	选材及应用	693
1.4	力学性能	644	第5章 钛及钛合金应用		694
1.5	制造工艺和性能	647	1	航空与航天用钛	694
1.6	选材及应用	648	1.1	钛在航空工业中的应用	694
2	TB3 钛合金	651	1.2	钛在航天工程中的应用	702
2.1	化学成分	651	2	常规兵器用钛	704
2.2	物理及化学性能	652	2.1	钛在重武器中的应用	704
2.3	相变及显微组织	652	2.2	钛在轻武器上的应用	705
2.4	力学性能	652	3	舰船及海洋工程用钛	705
2.5	制造工艺和性能	655	3.1	钛在舰船中的应用	707
2.6	选材及应用	656	3.2	钛在海洋工程中的应用	709
3	TB5 钛合金	657	4	核电及火力发电用钛	711
3.1	化学成分	657	4.1	钛在汽轮机中的应用	711
3.2	物理及化学性能	657	4.2	钛在沿海发电站凝汽器中的应用	712
3.3	相变及显微组织	657	4.3	钛在超导电机中的应用	713
3.4	力学性能	657	4.4	钛在热核聚变装置中的应用	713
3.5	制造工艺及性能	661	5	化工用钛	713
3.6	选材及应用	663	5.1	化工用钛概况	713
4	TB6 钛合金	663	5.2	钛在石化工业中的应用	715
4.1	化学成分	663	5.3	钛在基本化工中的应用	717
4.2	物理及化学性能	663	5.4	钛在其他化工中的应用	719
4.3	相变及显微组织	664	5.5	钛设备应用的经济效益分析	722
4.4	力学性能	664	5.6	钛设备的设计与制造	723
4.5	制造工艺和性能	668	6	冶金工业用钛	728
4.6	选材及应用	671	6.1	钛在冶金工业中应用概况	728
5	TB8 钛合金	673	6.2	钛在电解铜生产中的应用	729
5.1	化学成分	673	6.3	钛在电解镍中的应用	729
5.2	物理性能	673	6.4	钛在湿法炼锌中的应用	729
5.3	相变及显微组织	673	6.5	钛在电解二氧化锰生产中的应用	730
5.4	力学性能	673	6.6	钛在钢材生产中的应用	730
5.5	制造工艺和性能	677	6.7	钛在焦化生产中的应用	730
5.6	选材及应用	679	6.8	钛在阳极泥湿法处理中的应用	730
6	TB9 钛合金	679	6.9	钛在钨湿法冶金中的应用	730
6.1	化学成分	680	7	电子信息产业用钛	730
6.2	物理及化学性能	680	7.1	在太空望远镜中的应用	730
6.3	相变及显微组织	681	7.2	钛在计算机中的应用	731
6.4	力学性能	681	7.3	钛在扬声器中的应用	731
6.5	制造工艺和性能	684	7.4	钛在照相机中的应用	731
6.6	选材及应用	684	7.5	6N 高纯钛在芯片中的应用	731
7	TB10 钛合金	684	7.6	电视荫罩生产	731
7.1	化学成分	685	7.7	钛在 3C 产品中的应用 (计算机、通讯器 材、消费性家电)	731
7.2	物理及化学性能	685	8	建筑与交通用钛	732
7.3	相变及显微组织	685	8.1	钛在建筑中的应用	732
7.4	力学性能	685	8.2	汽车工业用钛	733
7.5	制造工艺和性能	686	9	医疗、体育与日常生活用钛	735
7.6	选材及应用	686	9.1	医疗用钛	735
8	TB7 钛合金	688	9.2	体育用钛	737
8.1	化学成分	688	9.3	钛在日常生活中的应用	738
8.2	物理及化学性能	688	10	钛及钛合金应用资料	740
8.3	相变及显微组织	689	参考文献		751
8.4	力学性能	690			
8.5	制造工艺和性能	691			

第 1 篇

概 论

有色金属是指元素周期表中除铁元素以外的所有金属元素。西方国家习惯上称为非铁金属 (Non-ferrous Metals)。而前苏联和现在的俄罗斯则习惯称为有色金属 (Цветные Металлы)。由于历史的原因,我国也一直称有色金属。有色金属一般又可分为轻有色金属、重有色金属、稀有金属、稀土金属、贵金属、放射性金属和半金属。

由于半金属硅、锗是半导体,已成为信息功能材料的主体;而稀土金属虽然作为微量合金化元素在有色金属合金中应用很广,但稀土金属合金的主要用途都涉及信息技术,所以半金属和稀土金属在本大典的信息功能材料卷中将专门介绍;放射性金属则由于其特性和用途的特殊性,一般制造业很少涉及,故本卷也不包括。本卷共 14 篇,主要包括轻有色金属铝、镁及其合金,重有色金属铜、镍、钴、锌、铅、锡及其合金,稀有金属钛、铍、锆、钨、钼、钽、铌及其合金,硬质合金,贵金属及其合金,有色金属新材料等。鉴于有色金属材料的层状复合材料种类很多,应用很广,在本大典的复合材料卷中又没有介绍,故在本卷中专门设一篇金属层状复合材料。

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,也是现代高新技术四大支柱(能源、信息、生物、新材料)之一,而材料又是其他高新技术的基础,这些观点已经成为人们的共识。为了让读者能具体了解有色金属材料在国民经济建设中的作用和地位,以及目前有色金属材料发展的概况,下面将分别扼要介绍。

1 有色金属材料在国民经济建设中的作用和地位

有色金属品种繁多,各种有色金属都具有各自的独特性能,其合金材料具有一系列的奇异功能。现代科学技术的发展,对材料提出了千差万别的特殊性能的要求,大都靠有色

金属材料的发展来得到满足。

有色金属材料在解决人类面临的资源枯竭、环境污染、人口剧增的三大难题中,也将起着重要的作用。科学技术的进步,高新技术的发展,国防的现代化建设以及人民生活水平的提高,都有赖于有色金属材料的发展和支撑,可以说没有先进的有色金属材料的发展,就没有国防的现代化,没有日新月异的高新技术,没有现代化的工业,也没有高质量的人民生活。有色金属材料生产的技术水平和规模及其应用程度已经成为衡量一个国家综合国力的重要标志之一。

1.1 有色金属材料在国防现代化建设中起着关键作用

从近一个多世纪的发展历史看,许多高新技术往往都是从军事工业开始发展起来的。例如原子能技术、航天航空技术都是如此。这些军事技术的发展都要求在较短时间内能提供大量性能优异、特殊、高质量、高可靠性、品种规格多样的新型材料。这些新型材料中有金属材料占有很大比重。例如先进战机性能的提高就需要新型铝合金(如铝锂合金)、高温钛合金(工作温度达 600℃ ~ 650℃)、高强高韧钛合金($\sigma_b \geq 1250$ MPa)等结构材料。图 1-1 是美国歼击机应用铝锂合金的情况。提高钛合金在飞机主要结构和发动机上的用量,可以有效降低飞机的结构质量系数和提高发动机的推重比。美国 B-2 重型轰炸机和 F-22 歼击机中钛合金的用量分别达到 26% 和 35%。由于钛及钛合金具有高比强,优良的耐腐蚀性和透声性、无磁等特性,成为制造潜艇的耐压壳体、武器系统、核动力系统、声呐系统的主要材料。例如俄罗斯建造的阿尔法级潜艇和带有 24 枚战略导弹的“台风”级潜艇,都应用了大量的钛合金,使潜艇性能达到了深、静、快、强攻击型目标,属于世界一流水平。

制造火箭、人造卫星、航天飞机的材料要求具有高的比

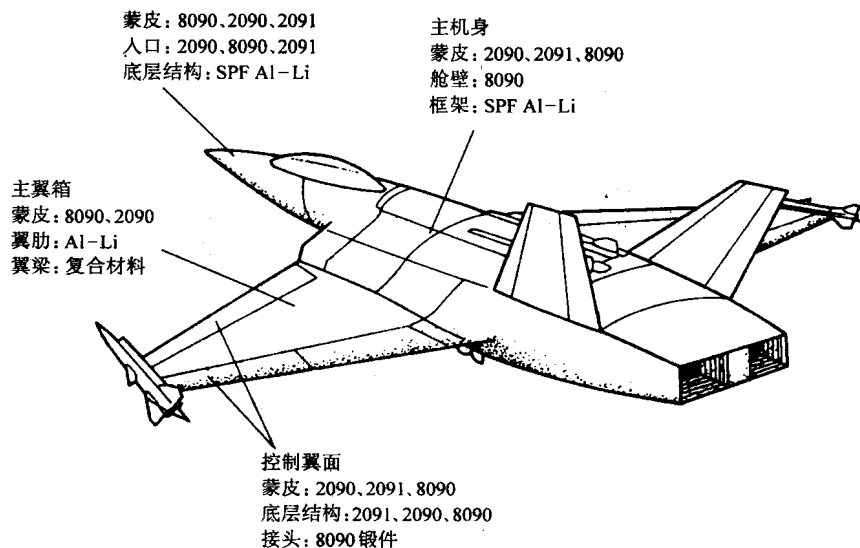


图 1-1 铝锂合金在歼击机上的应用情况

强度,以减小其质量,所以铝合金、钛合金都是这些航天器的重要结构材料,如燃料箱、助燃剂贮箱以及许多其他结构部件都大量使用铝合金。美国阿波罗运载火箭共使用了 450 t 铝合金,土星 5 号运载火箭使用了 102 t 铝合金。洲际导弹惯性平台上用的陀螺仪的全部结构材料,几乎都是用铍制作的,对增加射程、提高命中精度起关键作用。

铍是发展核技术的不可替代的关键材料,被誉为“原子能时代的第一金属”,核潜艇的核动力堆的燃料包套、容器

管、压力管、格架、端塞和其他堆芯结构都必须使用铍材;铍也是发展核武器的关键材料,用铍做氢弹核心部分的反射层,对增大裂变板机的爆炸威力起十分重要的作用。

过去人们认为兵器装备就是“钢铁加炸药”。但随着现代兵器技术和新材料技术的发展,有色金属材料已成为现代兵器所依赖的重要战略物质和关键技术之一。例如反装甲动能穿甲弹的弹芯材料主要是碳化钨和高强度高韧钨合金,反装甲化学能破甲弹的药型罩目前广泛使用铜材,美国海尔法

导弹的串联药型罩的前驱罩采用铝材,大大提高了射流侵略威力,药型罩的射流侵略威力与罩材密度成正比,密度大于 17.5 g/cm^3 的钨基金药型罩是各国正在开发的新材料。目前快速反应部队要求兵器轻量化,铝合金已成为牵引炮和装甲车辆的重要结构材料。

关于信息技术在现代战争中的关键作用,人们通过海湾战争和伊拉克战争已有清醒的认识,称“海湾战争是硅芯片战胜钢铁的战争”,是“信息化的战争”。这除了依靠高性能高可靠的半导体材料外,还涉及许多有色金属功能材料。

以上所述只是有色金属材料在国防现代化建设中起关键作用的几个实例,总之,陆、海、空、导弹等各军、兵种的武器装备的不断更新和现代化,有色金属新材料都是不可缺少的关键材料,大到运载火箭、战略导弹、飞机、舰艇的大型结构部件,小到电子元器件上的一个小触点、一根引线,有色金属材料都起着不可替代的作用。

基于有色金属材料在国防现代化中所占有的重要地位,许多国家都把有色金属如铀、钍、钽、钨、锆、铂族金属等列为国家储备的战略物资。

1.2 有色金属材料与高新技术的发展息息相关

当代正在兴起和蓬勃发展起来的高新技术群,是以信息技术为核心,包括新能源、生物工程、激光技术、海洋开发、空间技术和新材料等为标志的新兴技术群,新材料既是这些高新技术群的一部分,又是其他高新技术发展的前提和基础。在新材料技术中,有色金属材料占有十分重要的地位。众所周知,如果没有现代的耐高温、高强度、低密度的结构材料(如耐高温镍合金、钛合金、高强铝合金等)以及各种微电子功能材料,便不可能有今天的宇航工业;当今信息技术的飞速发展就是建立在硅、砷化镓等先进半导体材料的发展基础之上的;激光晶体是重要的激光材料,它是发展激光技术的基础,其基质晶体大都是稀土金属氧化物(或氟化物),其激活离子也都是稀土金属;性能优良的储氢材料,如 AB_2 型稀土系合金、镁系、钛镍系等储氢合金是发展Ni-MH电池不可缺少的基础材料,有色金属锆、钛、锂、铍是发展核能的主要支撑材料。

从另一角度来说,当前有一些高新技术难以实现,主要原因就是材料问题没有解决。例如太阳能是取之不尽、用之不竭、而又没有污染的理想能源,估计地面获得的太阳能相当于目前全世界总发电能力的十几万倍。可惜现在我们还没有解决价廉、寿命长、光电转换效率高的材料把光能转变成电能。目前非晶硅太阳能电池是20世纪70年代中期发展起来的一种新型薄膜太阳能电池,它的大面积光电转移效率由开始的1%~2%提高到了13%,但是大规模工业应用仍然成本太高,所以目前除普遍应用于手表、计算器等小型电池外,仅有少数几个兆瓦级太阳能独立电站建设的报道。如果把材料的大面积光电转换效率继续提高到15%~18%以上,就可以和火力发电竞争了。另一个由于材料问题没有解决而无法实现的高新技术事例,是用高温结构陶瓷制造内燃机。这种结构陶瓷主要是一些有色金属的氧化物、氮化物、硼化物、碳化物等组成,由于目前这些结构陶瓷的脆性太大,性能也不够稳定,尚难以在工程上大量应用。如果它们的脆性问题和质量稳定性问题能获得进一步解决,内燃机可以用高温结构陶瓷来制造,那么就可以取消水冷,从而可以减少燃料消耗30%,提高热效率50%。这对于当前能源需求日益增加,资源逐渐枯竭的形势来说具有非常重要的意义。以上所述只是少数几个事例,但已经充分说明了有色金属材料是发展高新技术的前提和基础。

此外,高新技术发展的需要又大大推动了有色金属新材

料的不断发展。例如军用战机性能要求提高,燃料价格上涨,要求飞机结构质量进一步减小,这些都促进了高温钛合金、高强韧钛合金、高强韧铝合金以及低密度高强韧铝锂合金的发展;电子计算机的小型化、高速化和多功能化,进一步带动了单晶硅材料向无缺陷、高均匀、大直径发展,并推动了第二代、第三代半导体材料砷化镓、氮化镓的问世;也促进了高记录密度、高保真、长寿命的信息记录材料(如钕钴合金)的出现。

总之,有色金属材料与高新技术的发展是息息相关的,我国过去两弹一星的试验成功和航天技术的发展,直到最近载人航天飞行的胜利返航,就非常深刻地揭示了这种息息相关的关系。

1.3 有色金属材料是国民经济各部门发展的物质基础,也对保证国民经济可持续发展起重大作用

有色金属材料在国民经济各部门的应用十分广泛,作为国民经济发展的基础材料,占有十分重要的地位。

铝是产量仅次于钢铁的第二大金属,除了前述国防工业中铝合金是关键材料外,在能源、交通、电子、建筑、轻工等产业中都占有十分重要的地位。如电力传输用电线、电缆,铝是仅次于铜的主要材料。在各种车辆中,铝及铝合金用量一直呈上升趋势,特别是为了节约能源,车辆力求轻量化是当前全球范围的一个重要趋势,目前汽车用铝合金仅占汽车用材料总量的4%~5%,日本轻合金协会预计,未来汽车用铝合金的量将达到材料总量的12%。铝合金用于汽车散热器在欧洲已达到90%,美国约占60%;铝合金的汽车轮毂有良好的功能和外观,在小车中已普遍应用;铝合金铸造的汽缸体在价格上可以与灰口铁竞争,除了性能满足要求和质量小以外,铝合金的导热率大大高于铸铁,可大大减少冷却剂用量。铁路车辆中铝合金用量也呈上升趋势,特别是欧洲和日本的高速列车上都广泛采用了铝合金,如大型薄壁宽幅带肋板材以及大型薄壁空心型材等。电子工业中电容器铝箔的用量仅次于食品包装,高比电容的电容器铝箔对增大电容量、减小电容器体积具有重要意义。铝合金在建筑行业制造门窗框架、护墙等已是铝合金重要应用领域之一,我国铝合金加工材的30%左右应用于建筑行业。

镁合金材料密度低,比强度、比刚度高,导热导电性、阻尼性、电磁屏蔽性都好,易于回收,与环境的相容性优良,因此是新世纪最有发展潜力的金属材料,也称为21世纪绿色工程材料。镁合金除了在航空航天工业中有重要的用途外,自20世纪70年代能源危机以后,在汽车工业中的应用日益受到重视。1997年全球十大汽车公司的用镁量为4.5万吨,到2000年猛增至9万吨。目前全球用于汽车零部件的镁合金用量将以年增长15%的速度发展。此外镁合金在电子行业中的应用也发展十分迅速,特别是“3C”产业中,便携电脑和移动电话等的镁合金外壳的应用日益扩大。

铜及铜合金具有优良的导电性、导热性和耐腐蚀性,容易加工成形,并且有高的强度、弹性和耐磨性,广泛应用于电气、电子、机械、仪表、造船、建筑和轻工等工业部门,所以随着国民经济的飞速发展,铜加工材的消费量迅速增长,我国20世纪90年代以来铜及铜合金材料的消费量,以平均每年递增21%以上的速率增长。作为电力传输的电线电缆,电机制造中的线圈,铜材是目前最好的、无法取代的材料。其他如空调管、高效散热管、长冷凝管、特薄水箱带、高精度引线框架带材、弥散强化高强高导铜材等,都成为我国各工业部门发展的关键材料。

钛具有密度低、比强度高、耐蚀性优良、耐温区宽、线胀系数小、无毒、生理相容性好等优点,并具有储氢、超导、超弹、高阻尼和形状记忆等特殊功能。钛及钛合金在空

间、海洋、军事工业、一般民用工业、医疗、人体植入、人们日常生活等各个部门都有广泛的用途,被称为“全能的金属”,所以钛材的需求量越来越大,已成为正在崛起的第三大金属。钛及钛合金材料约 50% 是用于航空航天,另外 50% 用于化工、石化、能源、医疗、汽车、建筑、体育等民用领域,我国随着 GDP 的迅速增长,近几年来对钛材的需求量以 30% 的速度增长,2003 年表观需求量已达到 9 000 t,超过了日本国内的消费量。我国将成为仅次于美国的第二大钛材消费国。

稀有金属钨、钼、钽、铌、锆、钨等,它们都以一系列特殊性能而成为国民经济发展中极其重要的材料。钨丝作为灯丝应用已有近 100 年历史,但至今仍然是难以完全替代的材料,我国钨的储量、产量、外贸出口量均居世界第一位,据资料统计我国钨的消耗量也是世界第一,钨 45% 消耗于硬质合金生产,我国硬质合金的产量 2003 年已达 12 000 t,占世界硬质合金产量的 1/3,我国已是世界上第一个硬质合金生产大国。硬质合金的产量与质量的提高对机械制造、矿山开采等工业的发展起着十分重要的作用。钽作为电容器材料,使电容器向轻、薄、小型化、可靠性方向发展成为可能,大大促进了现代通讯工具的小型化。

贵金属铂是化学工业催化技术发展的基础性关键材料,也是汽车尾气净化的重要材料,铂及铂合金是发展玻璃纤维工业的不可替代的材料。

从以上事例中可以清楚看出有色金属材料在国民经济发展中所占有的重要地位,可以说每一种有色金属材料都在国民经济中起着不可替代的作用。

1.4 有色金属材料与人民生活是密切相关的

随着社会经济的不断发展,人民生活水平的迅速提高,现代家庭用品,如电冰箱、空调、电视机、录相机、洗衣机、电话、移动电话的普及,有色金属材料已经从多方面和人们的日常生活直接相关;人民居住条件的改善,铝材大规模的进入建筑行业,使千家万户都成为铝材的用户。近十多年来,食品和饮料的刚性、半刚性、柔性包装大量采用铝材,美国包装用铝约占铝消耗总量的 20%,我国占 8%~12%,而各种容器、器皿、炊具的铝制品更是普及到了每家每户。随着生活水平的提高,人们对饰品和艺术装饰的需求也越来越高,我国已成为世界最大的黄金首饰消费国,和仅次于日本的第二大铂首饰消费国。

2 有色金属材料发展现状

2.1 世界有色金属发展概况

由于有色金属材料在国民经济建设中的重要作用,有色金属材料的发展受到世界各国的高度重视。自 20 世纪 90 年代以来,全世界钢的产量基本上保持平衡,但有色金属仍以年平均增长 2.26% 的速度发展。1990 年世界有色金属总产量为 4 967.79 万吨,1998 年增长至 5 827.75 万吨,2002 年又增加至 6 836.16 万吨。

表 1-1 为 2000~2002 年世界各主要国家和地区,有色金属总产量和消费量的增长情况,表 1-2 为有色金属出口量和进口量的增长情况以及 2002 年的排位顺序。

表 1-1 2000~2002 年世界各主要国家和地区,有色金属总产量和消费量增长情况和排位顺序 万吨

产 量					消费量				
位次 (2002 年)	国家和地区	年 份			位次 (2002 年)	国家和地区	年 份		
		2000	2001	2002			2000	2001	2002
1	中国	798.43	905.95	1 042.75	1	美国	1 219.9	1 071.08	1 053.54
2	美国	1 159.24	988.69	935.12	2	中国	759.9	815.68	935.36
3	俄罗斯	473.17	482.45	485.56	3	日本	481.3	433.85	427.50
4	加拿大	442.44	445.00	477.53	4	德国	385.1	377.26	376.60
5	日本	398.72	390.52	392.51	5	韩国	251.8	247.63	275.34
6	澳大利亚	322.40	343.98	350.41	6	意大利	217.6	212.73	225.15
7	德国	288.64	294.83	303.94	7	法国	204.37	196.04	188.10
8	智利	270.20	291.56	288.09	8	中国台湾省	169.84	132.33	161.80
9	巴西	200.42	191.04	215.38	9	俄罗斯	117.25	130.22	150.63
10	挪威	153.65	156.01	160.99	10	西班牙	127.19	126.43	137.19

表 1-2 2000~2002 年世界各主要国家和地区,有色金属出口量和进口量增长情况和排位顺序 万吨

出 口 量					进口量				
位次 (2002 年)	国家和地区	年 份			位次 (2002 年)	国家和地区	年 份		
		2000	2001	2002			2000	2001	2002
1	俄罗斯	414.58	397.51	375.45	1	美国	501.32	508.73	533.58
2	智利	251.84	269.64	276.72	2	日本	324.18	288.65	275.65
3	加拿大	289.72	299.64	253.22	3	德国	269.76	254.27	253.27
4	澳大利亚	222.16	225.69	215.36	4	中国	161.61	89.59	192.65
5	中国	141.97	150.28	179.60	5	意大利	160.35	57.83	175.17
6	挪威	118.48	143.27	129.50	6	韩国	157.19	50.25	169.00
7	巴西	80.48	63.26	84.88	7	中国台湾省	169.65	36.53	165.42
8	哈萨克斯坦	77.72	76.24	78.30	8	法国	133.88	27.40	125.51
9	荷兰	76.36	72.90	77.85	9	比利时	74.16	90.92	90.70
10	德国	56.99	65.48	67.97	10	英国	84.87	80.67	83.34