

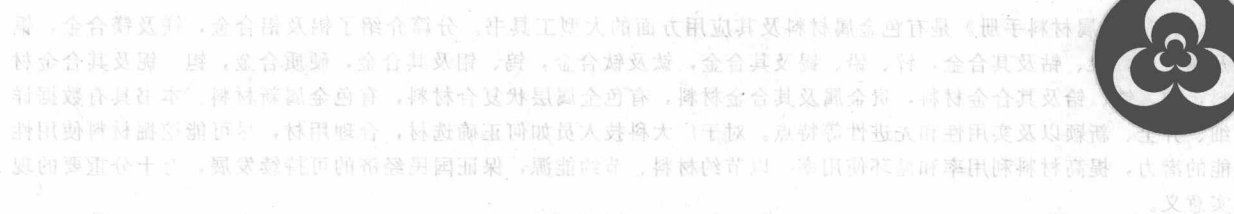
有色金属材料手册下

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



黄伯云 李成功 石力开 邱冠周 左铁镛 主编



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，锆、铪及其合金材料，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。对于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. 下/黄伯云等主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-122-05340-4

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 057710 号

责任编辑: 周国庆 段志兵
责任校对: 洪雅姝

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 53 1/4 字数 2470 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: 170.00 元

版权所有 违者必究

前 言

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,这是广大科技人员急需解决的问题,也是编写本书的目的。

在元素周期表中,除铁、铬、锰以外的金属元素统称为有色金属,国际上统称非铁金属。各种有色金属元素都具有各自的独特性能。现代科技的发展,对材料提出了千差万别的各种特殊性能的要求,很大部分都是依靠发展有色金属材料来得到满足的。因此,有色金属材料的发展受到各国的高度重视。到2004年我国常用有色金属产量约1500多万吨,跃居世界第一位。今后,随着我国经济建设规模的不断扩大,对有色金属材料的需求,在产量、品质、品种等方面都将提出更高的要求。这对有色金属工业既是机遇,也是挑战。

经过有关专家多次讨论修改后,确定本书共分14篇,约470万字,分上、下两册出版。为尽可能全面系统地反映有色金属材料的现状与发展,邀请了中南大学、北京科技大学、西北有色金属研究院、昆明贵金属研究所、北京有色金属研究总院、北京航空材料研究院、宁夏905厂、北京工业大学等单位的68位相关领域的专家参加编写和审稿。全书由黄伯云、李成功、石力开、邱冠周、左铁镞任主编,历时4年完稿。各篇主编如下。

第1篇	概论	黄伯云院士	邱冠周教授
第2篇	铝及铝合金	田荣璋教授	肖亚庆教授
第3篇	镁及镁合金	黎文献教授	
第4篇	铜及铜合金	汪明朴教授	尹志民教授
第5篇	镍、钴及其合金	唐仁政教授	
第6篇	锌、铅、锡及其合金	田荣璋教授	
第7篇	钛及钛合金	李成功教授	马济民教授 邓炬教授
第8篇	钨、钼及其合金	王德志教授	潘叶金教授
第9篇	硬质合金	吴恩熙教授	
第10篇	钽、铌及其合金材料	何季麟院士	
第11篇	铍、锆、钨及其合金材料	刘建章教授	聂大钧教授
第12篇	贵金属及其合金材料	孙加林教授	张康侯教授 宁远涛教授 张永俐教授
第13篇	有色金属层状复合材料	张新明教授	谢建新教授
第14篇	有色金属新材料	石力开教授	左铁镞院士

本书是目前有关有色金属材料方面最全面、最系统的工具书。具有数据详细、齐全、新颖以及实用性和先进性相统一等特点。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。

由于内容多、时间紧和编著者水平所限,其中难免存在不少问题和不足,敬请广大读者批评指正。

黄伯云 李成功 石力开 邱冠周 左铁镞

编辑委员会^①

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇 栾恩杰
王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镛

主任：路甬祥

副主任：李成功（常务） 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国
潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东

总编辑：李骏带

秘书长：黄远东（兼）

委员（按姓氏笔画排列）：

丁 辛	丁传贤	干 勇	于月光	才鸿年	马世宁	马冲先	马济民	马眷荣
马福康	王占国	王务同	王尔德	王永岩	王亚军	王至尧	王克光	王克俭
王高潮	王淀佐	王琦安	王新林	王德志	方禹之	尹志民	邓 炬	左铁钊
左铁镛	石力开	石春山	卢世刚	叶小玲	叶光斗	田志凌	田荣璋	史耀武
冯 涤	冯 稷	冯春祥	宁远涛	邢建东	师昌绪	吕 炎	吕反修	同继锋
曲文生	朱万森	朱如瑾	朱绍华	朱道本	仲维卓	任家烈	华 林	刘 明
刘正才	刘世参	刘占阳	刘邦津	刘作信	刘其贤	刘郁丽	刘治国	刘建章
刘晋春	刘清友	刘献明	齐从谦	闫 洪	江东亮	许祖泽	许祖彦	阳明书
孙 坚	孙加林	杜善义	杨 合	杨 武	杨乃宾	杨才福	杨鸣波	杨忠民
杨晓华	杨海波	杨焕文	杨德仁	李 强	李 晋	李 楠	李长久	李龙土
李成功	李光福	李志刚	李明哲	李明辉	李学勇	李虹霞	李恒德	李贺军
李海军	李骏带	李鹤林	严东生	连克仁	肖亚庆	吴 行	吴 昆	吴 诚
吴永声	吴伟仁	吴性良	吴科如	吴恩熙	吴谊群	吴智华	吴德馨	何光远
何季麟	佟晓辉	邱 勇	邱冠周	邱德仁	余金中	邹广田	汪明朴	沈 真
沈万慈	沈德忠	宋天虎	张 力	张 扬	张 华	张 杰	张 金	张 峥
张子龙	张用宾	张立同	张永俐	张吉龙	张旭初	张佐光	张晋远	张康侯
张道中	张新民	陆燕荪	陈 琦	陈文哲	陈世朴	陈立泉	陈运远	陈志良
陈国钧	陈治明	陈南宁	陈祝年	陈晓慈	陈涌海	陈祥宝	陈超志	林慧国
欧阳世翥	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周 廉	周伟斌	周国庆
郑有料	柳玉起	柳百成	胡玉亭	胡正寰	南策文	赵万生	赵有文	赵国群
赵金榜	赵梓森	赵慕岳	钟群鹏	施东成	施剑林	姜不居	姜晓霞	祖荣祥
姚 燕	贺守华	耿 林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨湛	夏志华	俸培宗
徐匡迪	徐廷献	徐建军	徐祖耀	徐家文	徐跃明	徐滨士	殷树言	翁宇庆
郭会光	郭景杰	高瑞萍	栾恩杰	唐仁政	唐汝钧	唐志玉	唐昌世	益小苏
涂善东	黄 勇	黄天佑	黄玉东	黄本立	黄远东	黄伯云	黄校先	黄培云
曹勇家	曹湘洪	龚七一	崔 健	康喜范	梁 齐	梁 军	梁志杰	屠海令
隋同波	韩凤麟	彭艳萍	葛子干	董 瀚	董汉山	董首山	董祖珏	董湘怀
蒋力培	蒋建平	傅绍云	储君浩	谢邦互	谢里阳	谢建新	鄢国强	雷天民
路甬祥	解应龙	解思深	雍歧龙	蔡中义	漆 玄	谭 抚	熊守美	靳常青
樊东黎	黎文献	颜永年	颜鸣皋	潘正安	潘叶金	潘振甦	潘健生	燕 瑛
戴国强								

① 本书是原《中国材料工程大典》其中的一卷。《中国材料工程大典》由中国机械工程学会、中国材料研究学会组织编写，中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会及中国复合材料学会参加组织编写。本编辑委员会即为《中国材料工程大典》编委会。

目 录

第8篇 钨、钼及其合金	1
第1章 概述	3
1 钨及其化合物的性质	3
1.1 金属钨的性质	3
1.2 钨化合物的性质	7
2 钼及其化合物的性质	13
2.1 金属钼的性质	13
2.2 钼化合物的性质	14
3 钨、钼及其合金相图	19
3.1 钨合金二元相图	19
3.2 钼合金二元相图	21
3.3 钨、钼及其合金三元相图	25
4 钨、钼及其合金的牌号对照	28
第2章 钨及其合金	29
1 钨	29
1.1 钨的中间化合物	29
1.2 金属钨粉生产	32
1.3 钨的粉末冶金	40
1.4 致密钨及其合金的其他生产方法	46
1.5 特殊钨制品	47
2 钨合金	48
2.1 固溶强化型合金	48
2.2 沉淀硬化钨合金	50
2.3 弥散强化钨合金	50
2.4 钨纤维增强复合材料	51
3 中国钨及其合金粉末冶金产品的牌号和化学成分	52
3.1 仲钨酸铵	52
3.2 氧化钨 (GB/T 3457—1997)	52
3.3 钨粉 (GB/T 3458—1982)	53
3.4 钨条 (GB/T 3459—1982)	53
3.5 掺杂钨条 (GB/T 4189—1984)	53
第3章 钼及其合金	54
1 钼	54
1.1 金属钼粉生产	54
1.2 钼的粉末冶金	55
1.3 致密钼及其合金的其他生产方法	57
2 钼合金	59
2.1 TZM合金	59
2.2 二硅化钼	61
2.3 钼铜合金	62
2.4 钼铈合金	63
2.5 钼钨合金	64
2.6 稀土钼	65
3 中国钼及其合金产品的牌号和化学成分	65
3.1 钼酸铵	65
3.2 钼粉 (GB/T 3461—1982)	66
3.3 钼条 (GB/T 3462—1982)	66
3.4 掺杂钼条 (GB/T 4190—1984)	66
3.5 钼钨合金条 (GB/T 4185—1984)	66
3.6 钼顶头 (YS/T 245—1994)	66
第4章 钨、钼及其合金的深加工	67
1 概述	67
2 钨、钼及其合金棒(杆)材的生产	67
2.1 钨、钼及其合金棒(杆)材的分类与牌号	67
2.2 钨、钼及其合金棒(杆)材的旋锻加工	67
2.3 钨、钼及其合金棒(杆)材的孔型轧制	70
3 钨、钼及其合金丝材的生产	72
3.1 钨、钼及其合金丝材的分类及牌号	72
3.2 钨、钼及其合金丝材的拉伸加工	72
4 钨、钼及其合金板、带、箔材的生产	74
4.1 钨、钼及其合金板、带、箔材的品种与规格	74
4.2 钨、钼及其合金板、带、箔材的轧制加工	74
5 钨、钼及其合金管材的生产	78
5.1 钨及其合金管材的生产	78
5.2 钼及其合金管材的生产	81
6 钨、钼及其合金深加工产品的性能	83
6.1 中国钨、钼及其合金深加工产品的性能	83
6.2 美国钨、钼及其合金深加工产品的性能	88
6.3 日本钨、钼及其合金深加工产品的性能	88
第5章 钨、钼及其合金的氧化与防护	91
1 概述	91
2 钨、钼及其合金的氧化	91
2.1 钼及其合金的氧化	91
2.2 钨及其合金的氧化	91
3 钨、钼及其合金防护层选择的原则	92
4 钨、钼及其合金的防护	92
4.1 钼及钼合金的防护	92
4.2 钨及钨合金的防护	95
第6章 钨、钼及其合金的应用	96
1 钨的应用	96
1.1 冶金工业	96
1.2 电子和电工材料	97
1.3 宇航工业	98
1.4 化学工业	100
1.5 原子能工业	100
1.6 轻工业	100
1.7 玻璃陶瓷工业	100
1.8 医学	100
1.9 钨的应用发展趋势	100
2 钼的应用	101
2.1 冶金工业	101
2.2 电子和电工材料	102
2.3 航空和宇航工业	103
2.4 化学工业	104
2.5 玻璃陶瓷	105
2.6 农业	105
2.7 其他	105
2.8 钼的应用发展趋势	105
参考文献	107
第9篇 硬质合金	109
第1章 概述	111
1 硬质合金的基本性能	111
1.1 合金密度	111
1.2 矫顽磁力	111

1.3 磁饱和	111	第4章 钢结硬质合金的生产	148
1.4 硬度	111	1 钢结硬质合金的生产工艺	148
1.5 抗弯强度	111	1.1 混合料的制备	148
1.6 抗压强度	112	1.2 烧结工艺	148
1.7 冲击韧度	112	1.3 钢结硬质合金的热处理	149
1.8 导热率	112	1.4 钢结硬质合金的成分和性能	150
1.9 线胀系数	112	2 钢结硬质合金产品的表示方法	151
1.10 耐磨性	112	第5章 涂层硬质合金的生产	154
2 硬质合金的分类	112	1 化学气相沉积涂层法	154
2.1 WC-Co (碳化钨基) 硬质合金	112	1.1 高温化学气相沉积	154
2.2 WC-TiC-Co (钨钴钛基) 硬质合金	112	1.2 中温化学气相沉积	154
2.3 WC-TiC-TaC (NbC) -Co 硬质合金	113	1.3 等离子体化学气相沉积	155
2.4 TiC-Ni (碳化钛基) 硬质合金	113	2 物理气相沉积涂层	155
2.5 钢结硬质合金	113	2.1 离子镀膜	155
2.6 涂层硬质合金	113	2.2 真空电弧蒸镀膜	155
3 国内主要牌号硬质合金的成分及性能	113	3 涂层硬质合金分类及主要技术要求	156
4 国际标准化组织 (ISO) 硬质合金的 分类及代号	114	3.1 涂层硬质合金的分类	156
5 国内各类用途硬质合金牌号的推荐	115	3.2 涂层硬质合金推荐用途	156
第2章 WC-Co、WC-TiC-Co 硬质合金	117	3.3 涂层硬质合金的技术要求	156
1 硬质合金的生产方法	117	4 硬质合金可转位刀片的基本使用性能	156
1.1 原料粉末的生产	117	4.1 车削用硬质合金牌号适用范围	156
1.2 WC-Co 硬质合金制品的生产	121	4.2 普通车削的常用切削速度和进给量	156
2 WC-Co 硬质合金物理性能及力学性能 的测定方法	130	4.3 铣削用硬质合金牌号适用范围	157
2.1 物理性能的测定	130	4.4 端面铣削常用切削速度和进给量	157
2.2 力学性能的测定	131	4.5 钻削用硬质合金牌号适用范围	157
2.3 硬质合金断口及金相检验	132	4.6 各国切削工具用硬质合金牌号对照	159
3 WC-Co、WC-TiC-Co 硬质合金的应用	132	参考文献	162
3.1 硬质合金切削刀具	132	第10篇 钽、铌及其合金材料	163
3.2 矿用硬质合金	135	第1章 概述	165
3.3 硬质合金顶锤与压缸产品的表示方法	138	1 基本特性	165
3.4 硬质合金拉伸模的表示方法	139	2 应用	165
3.5 硬质合金圆棒毛坯的表示方法	141	2.1 钽铌是多用途的功能性材料	165
第3章 WC-TiC-Co、WC-TiC-TaC (NbC) -Co 硬 质合金的生产	142	2.2 钽是制作钽电容器的关键材料	166
1 TiC-WC 复式碳化物的制备	142	2.3 铌是用作钢铁添加剂的重要材料	167
1.1 制备方法	142	2.4 钽铌在航空航天工业中的应用	167
1.2 基本原理	142	3 产品类别	168
1.3 (TiW) C 固溶体粉末粒度的控制	142	4 供需现状与发展趋势	168
1.4 (TiW) C 固溶体生产工艺	142	4.1 钽铌产品的应用与发展	168
2 (TiW) C 固溶体的成分	143	4.2 电容器级钽粉钽丝的发展	172
3 WC-TiC-Co 硬质合金的性能	143	4.3 金属铌产品的发展	174
3.1 密度	143	4.4 钽铌及其合金加工材的发展	174
3.2 硬度	143	4.5 其他钽铌产品的发展	174
3.3 抗弯强度	143	第2章 钽铌氧化物、化合物及氧化物晶体	176
3.4 切削寿命系数	143	1 钽铌氧化物	176
4 其他碳化物的生产方法	144	1.1 牌号、标准与用途	176
4.1 碳化钛粉末的生产	144	1.2 化学成分	176
4.2 碳化钽与碳化铌粉末的生产	144	1.3 物理与化学性质	176
4.3 TiC-WC-TaC (NbC) 固溶体的生产	144	2 钽铌化合物	178
5 WC-TiC-TaC (NbC) -Co 合金	144	2.1 氟钽酸钾	178
5.1 合金的组织结构	144	2.2 氟铌酸钾	178
5.2 合金的性能	145	2.3 钽铌氢氧化物	178
6 国外硬质合金的牌号和性能	145	2.4 钽铌低价氧化物	179
6.1 日本生产的硬质合金牌号分类及其性能	145	2.5 草酸铌	179
6.2 美国生产的 WC-TiC-TaC-Co 硬质合金 组成与性能	146	2.6 钽铌卤化物	179
6.3 Sandvik 公司生产的硬质合金牌号与性能	146	2.7 钽铌碳化物	180
		2.8 钽铌氮化物	181
		3 钽铌氧化物晶体	182
		3.1 品种、特点与应用	182

3.2 结构性能	182	3.2 化学成分	213
3.3 物理与化学性质	182	3.3 规格与供应状态	214
3.4 压电性能	183	3.4 加工工艺与热处理规范	214
3.5 光学性能	184	3.5 力学性能	214
3.6 工艺性能	184	3.6 工艺性能与要求	215
3.7 晶体选用	185	3.7 焊接性能	215
第3章 钽及钽合金	187	3.8 其他性能	215
1 钽及钽合金	187	3.9 使用建议	215
1.1 牌号、特点与应用	187	第5章 电容器级钽粉、钽粉、钽丝与钽丝	217
1.2 化学成分	187	1 电容器级钽粉	217
1.3 化学性能	188	1.1 钽电解电容器	217
1.4 物理性能	190	1.2 电容器级钽粉	221
1.5 使用建议	191	2 电容器级钽粉	239
1.6 相图	192	2.1 钽电解电容器	239
2 钽及钽合金管棒线材	192	2.2 电容器级钽粉	243
2.1 牌号、特点与应用	192	2.3 电容器级 NbO 粉	244
2.2 化学成分	193	2.4 应用选择	245
2.3 规格与供货状态	193	3 电容器级钽丝、钽丝（钽合金丝）	247
2.4 加工工艺与热处理规范	193	3.1 电容器级钽丝	247
2.5 力学性能	194	3.2 电容器级钽丝与钽合金丝	250
2.6 工艺性能与要求	195	第6章 钽钽成分分析和性能检测	251
2.7 机械加工性能	195	1 化学成分分析	251
2.8 焊接性能	196	1.1 试样分解	251
2.9 无缝管与焊接管比较	196	1.2 矿石分析	251
2.10 使用建议	196	1.3 金属、合金与化合物分析	251
3 钽及钽合金板带箔材	196	1.4 离子色谱分析	253
3.1 牌号、特点与应用	196	1.5 X射线荧光光谱分析	254
3.2 化学成分	196	1.6 电感耦合等离子体发射光谱分析	254
3.3 规格与供应状态	196	1.7 电感耦合等离子体质谱分析	255
3.4 加工工艺与热处理规范	196	1.8 辉光放电质谱分析	256
3.5 力学性能	197	1.9 气体元素测定	257
3.6 工艺性能与要求	197	2 性能检测	258
3.7 焊接性能	198	2.1 物理性能检测	258
3.8 使用建议	198	2.2 力学性能检测	260
4 金属钽溅射靶材	198	2.3 电性能检验	261
4.1 牌号、特点与应用	198	参考文献	263
4.2 化学成分	198	第11篇 铍、锆、钨及其合金材料	265
4.3 规格与允许偏差	198	第1章 铍及铍合金	267
4.4 冶金性能	199	1 概述	267
第4章 铌及铌合金	200	1.1 铍的资源	267
1 铌及铌合金	200	1.2 铍材料的种类、特性与应用	267
1.1 牌号、特点与应用	200	1.3 铍材料的冶金与制备工艺	269
1.2 化学成分与分类	200	2 金属铍材	269
1.3 化学性能	205	2.1 铍的主要物理性质	269
1.4 物理性能	208	2.2 铍的化学性质	271
1.5 使用建议	208	2.3 铍的力学性能	271
1.6 相图	209	2.4 金属铍材的类别、品级与性能	272
2 铌及铌合金管、棒、线材	211	2.5 铍材制造的工艺特点及应用实例	273
2.1 牌号、特点与应用	211	3 铍铝合金	276
2.2 化学成分	211	3.1 铍铝合金的牌号、特点与应用	276
2.3 规格与供货状态	211	3.2 铍铝合金的性质	276
2.4 加工工艺与热处理规范	212	3.3 铍铝合金的制备工艺及特点	277
2.5 力学性能	212	4 氧化铍及氧化铍陶瓷	277
2.6 工艺性能与要求	213	4.1 氧化铍	277
2.7 机械加工性能	213	4.2 氧化铍陶瓷	279
2.8 焊接性能	213	5 其他铍材料	281
2.9 使用建议	213	5.1 铍镍合金	281
3 铌及铌合金板带箔材	213	5.2 铍硅合金	281
3.1 牌号、特点与应用	213		

5.3 铍金属间化合物和铍基复合材料	281	5.2 海绵铅	332
5.4 氟化铍	281	5.3 晶体铅	332
5.5 碳化铍	281	5.4 原子能级铅管	332
5.6 氯化铍	281	5.5 热轧和冷加工铅棒材和线材的牌号、化 学成分及力学性能	332
5.7 铍铍芯块	282	6 铅的成分分析	333
6 铍的化学分析与铍材料的性能检验	282	7 铅及铅合金的应用	333
6.1 铍的化学分析	282	7.1 在核工业中的应用	333
6.2 铍粉末的检验	282	7.2 在其他工业中的应用	333
6.3 铍材料的性能检验	282	参考文献	335
7 铍的有害作用与防护	283	第12篇 贵金属及其合金材料	337
7.1 铍的有害作用	283	第1章 概述	339
7.2 铍毒害作用的防护原则	283	1 贵金属的历史	339
7.3 铍在环境介质中的容许浓度	283	1.1 金、银的历史	339
第2章 锆及锆合金	284	1.2 铂族金属的历史	339
1 概述	284	2 贵金属的矿产资源	340
1.1 锆的特性及用途	284	2.1 贵金属矿产资源的基本特点	340
1.2 锆的矿物资源	284	2.2 金的矿产资源	340
1.3 锆(铅)的冶炼	284	2.3 银的矿产资源	340
2 锆的基本性质	285	2.4 铂族金属的矿产资源	341
2.1 锆的物理性质	285	3 贵金属的提取和回收	341
2.2 锆的力学性能	286	3.1 从矿石中提取金银	341
2.3 锆的化学性质	286	3.2 从矿石中提取铂族金属	342
3 常用锆及锆合金材料	287	3.3 贵金属的二次资源及其回收	342
3.1 锆原材料的牌号和化学成分	287	4 贵金属材料及应用	343
3.2 核工业用锆及锆合金牌号及化学成分	288	4.1 贵金属材料的分类	343
3.3 其他工业(非核设施)用锆及合金牌号 及化学成分	289	4.2 贵金属材料的应用	343
3.4 工业用锆及锆合金材料产品规格	289	5 贵金属材料的制造	344
3.5 锆及锆合金材料典型工艺	290	5.1 贵金属合金的熔铸	344
4 锆的成分分析	292	5.2 贵金属合金的粉末冶金	344
5 锆及锆合金的应用	292	5.3 贵金属及其合金的加工	344
5.1 在核反应堆中的应用	292	5.4 贵金属粉末的制备	345
5.2 在化工中的应用	295	6 现代人类社会中的贵金属	345
5.3 在其他工业方面的应用	295	6.1 国际市场中的贵金属	345
5.4 锆的化合物及其应用	298	6.2 贵金属在现代社会中的作用	347
6 锆合金	299	6.3 贵金属领域面临的主要矛盾和对策	348
6.1 概述	299	第2章 银及其主要合金	350
6.2 锆-锡系合金(Zircaloy)	302	1 银的基本性质	350
6.3 锆-铌系合金	307	1.1 银的物理性质	350
6.4 正在发展的核用锆合金	309	1.2 银的化学性质	354
6.5 其他核用锆合金	314	2 银的主要二元合金	355
6.6 非核用锆合金的性能	314	2.1 银的主要合金化元素	355
7 锆及锆合金的腐蚀与吸氢	314	2.2 Ag-Au 合金	355
7.1 锆及锆合金的腐蚀	314	2.3 Ag-Cd (CdO) 合金	355
7.2 锆及锆合金的吸氢	319	2.4 Ag-Cu 合金	356
8 锆及锆合金的辐照性能	325	2.5 Ag-Ni (Fe) 合金	356
9 锆粉	326	2.6 Ag-Pt (Pd) 合金	357
第3章 铅及铅合金	329	2.7 Ag-W (Mo) 合金	357
1 概述	329	2.8 Ag-C 合金	357
2 铅的基本性能	329	2.9 Ag-RE 合金	358
2.1 铅的物理性质	329	3 银的主要三元与多元合金	358
2.2 铅的力学性能	329	3.1 Ag-Au-Cu 合金	358
2.3 铅的化学性质	331	3.2 Ag-Au-Pd 合金	358
3 铅加工材的腐蚀性能	331	3.3 Ag-Au-Pt 合金	359
3.1 晶条铅的腐蚀性能	331	3.4 Ag-Cu-Pd 合金	359
3.2 铅-锆合金的腐蚀性能	331	3.5 Ag-Cu-Sn (In) 合金	359
4 铅的辐照性能	332	3.6 Ag-Cu-Zn (Cd) 合金	360
5 常用铅材的成分	332	3.7 Ag-Mg-Ni 合金	360
5.1 二氧化铅	332		

4 微合金化银合金	360	2 铈、钕、铈、钕的主要合金	422
4.1 微合金化元素	360	2.1 钕-铈合金	422
4.2 微合金化强化的高纯 Ag 材	360	2.2 铈-铈合金	422
第3章 金及其主要合金	362	2.3 钕-钕合金	423
1 金的基本性质	362	2.4 高温结构材料用金属间化合物	423
1.1 金的物理性质	362	第7章 贵金属电触点材料	424
1.2 金的化学性质	364	1 电触点材料的基本情况	424
2 金的主要二元合金	366	1.1 对电触点材料性能的要求	424
2.1 金的常规合金化元素	366	1.2 断开触点和滑动触点材料	424
2.2 Au-Cu 合金	366	2 贵金属变形合金电触点材料	425
2.3 Au-Ni 合金	367	2.1 银基电触点材料	425
2.4 Au-Pd 合金	367	2.2 金基电触点材料	430
2.5 Au-Pt 合金	368	2.3 铂基电触点材料	431
2.6 Au-Ti 合金	369	2.4 钯基电触点材料	434
2.7 Au-碱土金属合金	369	3 贵金属复合电触点材料	437
2.8 Au-稀土 (RE) 合金	370	3.1 贵金属层状复合电触点材料	437
3 金的三元与多元合金	370	3.2 贵金属纤维复合电接触材料	437
3.1 Au-Ag-Cu 合金	370	3.3 颗粒增强贵金属电触点材料	438
3.2 Au-Cu-Ni 合金	370	3.4 弥散强化贵金属电触点材料	443
3.3 Au-Cu-Pd 合金	371	3.5 连续滚焊复合贵金属电触点材料	444
3.4 Au-Ni-Cr 合金	371	3.6 贵金属复合铆钉触点	444
3.5 Au-Ni-Fe 合金	372	3.7 贵金属电镀触点材料	444
3.6 Au-Pd-Fe (Cr、Mo、V) 合金	372	4 贵金属电触点材料的应用	445
3.7 Au-Pd-Pt 合金	373	5 国外产品	447
4 弥散强化金合金	373	6 相关标准	451
5 微合金化金合金	374	6.1 中国国家标准	451
5.1 微合金化元素	374	6.2 国外标准	451
5.2 微合金化 Au 与 Au 合金	374	第8章 贵金属电阻和测温材料	453
第4章 铂及其主要合金	375	1 贵金属的导电性质和电阻性质	453
1 铂的基本性质	375	1.1 贵金属的导电性质	453
1.1 铂的物理性质	375	1.2 贵金属的电阻性质	453
1.2 铂的化学性质	381	2 贵金属电阻合金材料	455
2 铂的主要合金	385	2.1 影响精密电阻合金电阻稳定性的因素	455
2.1 Pt-Rh 合金	385	2.2 贵金属系列电阻合金	455
2.2 Pt-Ir 合金	388	2.3 精密电位计用贵金属材料	456
2.3 Pt-Pd 合金	391	2.4 贵金属电阻加热合金	460
2.4 Pt-Ru 合金	392	3 贵金属测温材料	461
2.5 Pt-W 合金	393	3.1 贵金属热电偶材料	461
2.6 Pt-Ni 合金	395	3.2 铂电阻温度计	466
2.7 Pt-Cu 合金	396	4 贵金属电阻应变材料	467
2.8 Pt-Pd-Rh 合金	397	4.1 Pt-W 系合金	468
2.9 Pt-Rh-Ru 合金	399	4.2 Au-Pd-Cr 系合金	468
2.10 弥散强化铂基合金	400	4.3 Pd 基合金	469
第5章 钯及其主要合金	404	5 相关国家标准	470
1 钯的基本性质	404	第9章 贵金属钎焊材料	471
1.1 钯的物理性质	404	1 贵金属钎焊材料的基本概况	471
1.2 钯的化学性质	405	2 银与银合金钎料	471
2 钯的主要合金	406	2.1 主要银合金钎料体系	471
2.1 Pd-Ag 合金	406	2.2 低银软钎料	471
2.2 Pd-Cu 合金	408	2.3 Ag-Cu 共晶型合金钎料	472
2.3 Pd-Ru 合金	409	2.4 低银中温钎料	473
2.4 Pd-Ir 合金	411	2.5 含 Mn、Al 的银合金钎料	474
2.5 Pd-W 合金	412	2.6 Ag-Pd 和 Ag-Cu-Pd 合金钎料	475
2.6 Pd-RE (稀土) 合金	412	2.7 银合金钎料国家标准与牌号	476
2.7 Pd-Ag-RE (稀土) 合金	413	3 金与金合金钎料	476
第6章 铈、钕、铈、钕及其主要合金	414	3.1 金合金钎料的体系与特性	476
1 铈、钕、铈、钕的基本性质	414	3.2 低熔点共晶型金合金钎料	476
1.1 铈、钕、铈、钕的物理性质	414	3.3 中高温型金合金钎料	477
1.2 铈、钕、铈、钕的化学性质	421	3.4 金合金钎料的国家标准与牌号	478

3.5 金合金饰品钎料	479	4 与环境协调的工业生产用贵金属	510
3.6 铂合金饰品与制品用金合金钎料	480	4.1 金的超临界液体提取 (SFE)	510
3.7 金合金牙科钎料	480	4.2 清洁的化工过程	510
4 钌合金钎料	481	4.3 麦其淋的清洁生产	511
4.1 电子工业用 Pd-Ag 和 Pd-Ag-Cu 合金钎料	481	第 12 章 贵金属能源材料	512
4.2 含 Ni、Mn 的高温耐热型钎料	481	1 化石燃料加工用贵金属催化剂	512
4.3 钌合金钎料国家标准 (GB/T 18762—2002)	481	1.1 石油精炼	512
5 铂与钌合金钎料	481	1.2 化石燃料脱硫	512
5.1 铂合金钎料	481	2 太阳能用贵金属材料	512
5.2 Mo-Ru 合金钎料	482	2.1 光电转换太阳能电池用贵金属材料	512
6 贵金属合金膏状钎料	482	2.2 光热转换太阳能电池用贵金属材料	513
7 常用贵金属合金钎料的适用性与钎焊方法	483	3 氢能源用贵金属材料	513
8 贵金属焊接钎料国内外标准	484	3.1 制 H ₂ 用贵金属材料	513
8.1 中国贵金属钎料的国家与行业标准	484	3.2 氢气净化用贵金属材料	514
8.2 中国贵金属合金钎料牌号表示法 (GB/T 18762—2002)	484	3.3 金属氢化物电池用贵金属材料	515
8.3 其他国家的贵金属合金钎料标准	484	4 化学电池电极用贵金属材料	515
8.4 中国与其他国家贵金属合金钎料近似型 号对照	484	4.1 银锌电池和银镉电池	516
第 10 章 贵金属电子材料	486	4.2 铅酸蓄电池用贵金属	516
1 半导体技术用贵金属材料	486	4.3 固体电解质电池用贵金属	516
1.1 欧姆接触用贵金属材料	486	5 燃料电池 (FC) 用贵金属材料	516
1.2 化合物半导体材料	487	5.1 PEMFC 中的铂族金属	517
1.3 PGM 硅化物及金属化系统	487	5.2 DMFC 中的铂族金属	518
1.4 液体金属离子源 (LMIS) 用 PGM 合金	489	5.3 其他燃料电池用贵金属	518
2 贵金属信息材料	489	5.4 金基纳米催化剂在燃料电池中的应用	518
2.1 信息探测用贵金属敏感材料	489	5.5 电催化剂产品及专利	519
2.2 电光显示材料	491	6 核能用贵金属材料	520
2.3 信息存储材料	491	7 磁流体发电机用贵金属材料	520
3 厚膜集成电路用贵金属电子浆料	491	8 含贵金属的节能材料	520
3.1 贵金属电子浆料的种类和发展概况	491	8.1 含贵金属的超导材料	520
3.2 贵金属粉末	491	8.2 建筑物用贵金属节能材料	523
3.3 导体浆料	493	第 13 章 贵金属饰品材料	524
3.4 电阻浆料	496	1 贵金属饰品材料的概况	524
3.5 介质/封装浆料及新型电子浆料	497	2 贵金属饰品材料的特性	524
4 厚膜集成电路用其他贵金属材料	499	2.1 贵金属饰品材料的一般特性	524
4.1 半导体集成电路用布线和焊接材料	499	2.2 贵金属的化学稳定性	524
4.2 集成电路用键合金丝	500	2.3 贵金属的颜色	524
5 压电晶体材料	500	3 贵金属饰品的成色与检验	525
6 电子工业用贵金属低维材料与其他材料	500	3.1 饰品的成色	525
6.1 薄膜涂层材料	500	3.2 饰品品质检验	525
6.2 贵金属超微细粉	502	4 金与金合金饰品材料	525
6.3 贵金属导电聚合物	502	4.1 纯金	525
6.4 金属间化合物	502	4.2 彩色开金合金	525
第 11 章 贵金属环保材料	503	4.3 白色开金合金	530
1 环境治理用贵金属	503	4.4 复层饰品材料	533
1.1 汽车尾气净化催化剂	503	5 银合金饰品材料	533
1.2 挥发性有机化合物 (VOC _s) 治理用贵金属	503	5.1 纯银	533
1.3 治理 NO _x 和 SO ₂ 用贵金属	505	5.2 银合金饰品材料	534
1.4 治理工业污水用贵金属	505	5.3 抗变色银合金	534
1.5 控制“温室效应”用贵金属	505	5.4 复层银饰品材料	535
2 环境监测 (控) 敏感元器件用贵金属	506	5.5 含银开金合金	535
2.1 气体传感器用贵金属	506	6 铂饰品材料	535
2.2 水污染探测器用贵金属	510	6.1 铂饰品成色与标志	535
2.3 其他与环境监控相关的含贵金属敏感材 料及配套材料	510	6.2 高熔点铂合金	535
2.4 薄膜传感材料	510	6.3 低熔点铂合金	536
3 环境分析及环境治理用贵金属电极材料	510	6.4 商用铂合金饰品材料	536
		7 钌饰品材料	538
		7.1 含钌白色合金	538
		7.2 白色钌基合金	538
		7.3 黄色 Pd-In 合金	538

8 铑饰品材料	538	7.2 玻璃与玻璃纤维生产用 Pt 与 Pt-Rh 合金	623
第 14 章 贵金属化工材料	539	8 硝酸工业用贵金属	624
1 贵金属化合物	539	8.1 Pt 合金催化剂	625
1.1 常见的几种重要贵金属简单化合物	539	8.2 Pd 合金捕集网	625
1.2 贵金属有机配合物	541	9 贵金属纳米材料	626
1.3 其他贵金属化合物	560	9.1 贵金属纳米材料	626
2 贵金属化工催化材料	574	9.2 贵金属纳米材料的性质	627
2.1 无机化工用贵金属催化材料	574	9.3 贵金属纳米材料的应用	627
2.2 有机化工用贵金属催化材料	574	参考文献	629
2.3 石油化工用贵金属催化材料	574	第 13 篇 有色金属层状复合材料	633
2.4 汽车尾气净化用贵金属催化材料	574	第 1 章 概述	635
2.5 贵金属化工产品	580	1 层状复合材料的概念	635
第 15 章 贵金属涂镀层材料	595	2 层状金属复合材料的特点	635
1 贵金属涂镀层材料概况	595	3 复合机理	635
2 贵金属镀层材料	596	3.1 表面层裂缝机理	635
2.1 基本情况	596	3.2 再结晶理论	636
2.2 金及其合金镀层	596	3.3 位错学说	636
2.3 银及其合金镀层	597	3.4 能量学说	636
2.4 铑及其合金镀层	601	3.5 扩散机制	636
2.5 钯及其合金镀层	601	4 层状复合材料的种类	636
2.6 铂、钌、钨和铱镀层	602	5 层状复合材料的性能	636
3 贵金属涂层材料	603	6 几种层状复合材料的应用简介	637
3.1 基本情况	603	6.1 三层铝合金复合材料	637
3.2 CVD 制备的贵金属涂层	603	6.2 热双金属复合材料	637
3.3 PVD 制备的贵金属涂层	605	6.3 减摩双金属轴瓦材料	637
第 16 章 贵金属药物及医用材料	606	6.4 钛-钢复合板	637
1 贵金属药物	606	6.5 不锈钢-钢复合板	637
1.1 磺胺嘧啶银 (Silver Sulfadiazine)	606	6.6 铜-钢复合板	637
1.2 金诺芬 (Auranofin)	606	6.7 铝-钢复合板	637
1.3 顺铂 (Cisplatin)	606	第 2 章 爆炸复合材料	638
1.4 卡铂 (Carboplatin)	606	1 爆炸复合材料	638
1.5 奥沙利铂 (Oxaliplatin)	607	1.1 爆炸复合材料的特点	638
2 贵金属医用材料	607	1.2 爆炸复合材料的分类	638
2.1 贵金属牙科材料	607	1.3 爆炸复合材料的生产	639
2.2 生体植入材料及器件用贵金属	613	1.4 爆炸复合材料的组织	640
2.3 针疗用贵金属材料	614	1.5 爆炸复合材料的性能	642
2.4 其他医用金属材料	615	1.6 爆炸复合材料的应用	643
第 17 章 其他贵金属材料	616	2 爆炸复合材料的压力加工	646
1 贵金属精密合金	616	2.1 爆炸复合材料压力加工的特点	647
1.1 贵金属弹性合金	616	2.2 爆炸复合板的轧制	647
1.2 贵金属磁性合金	617	2.3 爆炸 + 轧制复合板结合区的微观组织	648
2 贵金属形状记忆合金	618	2.4 爆炸 + 轧制复合板的力学性能	650
2.1 贵金属低温形状记忆合金	618	2.5 爆炸 + 轧制复合板的厚度参数	651
2.2 贵金属高温形状记忆合金	618	2.6 爆炸复合板轧制机理探讨	653
3 贵金属感光材料	619	2.7 爆炸复合材料其他形式的压力加工	653
3.1 感光材料组成	619	2.8 爆炸复合材料压力加工技术展望	654
3.2 卤化银的组成与作用	619	3 爆炸复合材料的机械加工	654
3.3 其他贵金属添加剂的作用	619	3.1 爆炸复合材料机械加工的特点	654
4 贵金属坩锅与器皿材料	619	3.2 爆炸复合材料的切割加工	654
4.1 分析用坩锅器皿及工具	619	3.3 爆炸复合材料的切削加工	655
4.2 核场应用容器	620	3.4 爆炸复合材料的校平和校直加工	655
4.3 单晶体生长用坩锅	620	3.5 爆炸复合材料的成形加工	655
5 贵金属电极材料	620	第 3 章 轧制复合材料	659
5.1 电化学技术的应用与电极材料	620	1 概述	659
5.2 电解电极	621	2 轧制复合工艺概述	659
5.3 阴极保护防护电极	621	2.1 轧制复合法的特点	660
6 化学纤维工业用贵金属喷嘴材料	621	2.2 轧制复合材料生产流程	660
7 玻璃工业用贵金属材料	622	3 轧制复合材料的设计	661
7.1 玻璃生产与铂合金的作用	622		

4 特种轧制复合	662	1.2 AB ₅ 型稀土储氢电极合金	715
5 轧制复合材料的应用	662	1.3 稀土储氢合金的制备方法及表面处理	717
5.1 热双金属	662	1.4 储氢材料的应用	719
5.2 (电接触) 轧制贵廉复合金属	665	2 锂离子电池材料	719
5.3 导电弹性复合金属材料	666	2.1 锂离子电池原理	719
5.4 封装热控制复合金属材料	666	2.2 锂离子电池正极材料	720
5.5 炊具、装饰用复合金属	666	2.3 锂离子电池负极材料	722
第4章 铸造层状复合材料	668	2.4 电解质材料	723
1 概述	668	3 质子交换膜燃料电池材料	724
2 离心复合铸造	668	3.1 双极板	724
2.1 离心铸造的方法	668	3.2 质子交换膜	725
2.2 离心铸造的特点	668	3.3 电催化剂	726
2.3 离心复合铸造的应用	668	3.4 气体扩散层	726
3 镶嵌复合铸造	669	4 固体氧化物燃料电池材料	727
4 重力复合铸造	669	4.1 电解质材料	727
5 水平磁场制动复合连铸法	670	4.2 阳极材料	728
6 包覆层连续铸造复合法	671	4.3 阴极材料	728
7 电渣包覆铸造复合法	671	4.4 双极分离器材料	728
8 反向凝固连铸复合法	672	5 熔融碳酸盐燃料电池	729
9 复合线材铸拉法	672	5.1 MCFC 电池	729
10 双流连铸梯度复合法	673	5.2 MCFC 电极材料	731
11 双结晶器连铸复合法	673	5.3 MCFC 燃料电池的展望	732
12 充芯连铸法	673	6 碱性燃料电池材料	732
第5章 挤压层状复合材料	675	6.1 碱性燃料电池的工作原理及实例	732
1 概述	675	6.2 碱性燃料电池相关材料	733
2 双金属管挤压成形	675	6.3 碱性燃料电池最新进展	734
2.1 复合坯料挤压法	675	7 晶体硅太阳能电池材料	734
2.2 多坯料挤压法	676	7.1 单晶硅太阳能电池材料	734
3 实心包覆材料挤压成形	676	7.2 多晶硅太阳能电池材料	735
3.1 复合坯料常规挤压法(芯材变形)	677	7.3 晶体硅电池材料处理技术	736
3.2 静液挤压法	678	8 非晶硅太阳能电池材料	736
3.3 连续挤压法	679	8.1 非晶硅	737
3.4 带张力挤压法	679	8.2 非晶硅太阳能电池工作原理及电池结构	737
4 特殊包覆材料挤压成形	679	8.3 非晶硅太阳能电池的制备	737
4.1 低温超导复合线材	679	8.4 非晶硅太阳能电池转换效率和稳定性的 提高的研究	738
4.2 其他层状复合材料	680	8.5 非晶硅太阳能电池的发展趋势	738
参考文献	681	8.6 国内外非晶硅太阳能电池的现状	739
第14篇 有色金属新材料	683	9 III-V 族化合物太阳能电池材料	739
第1章 超导材料	685	9.1 III-V 族化合物太阳能电池及材料	740
1 发展概况	685	9.2 III-V 族化合物太阳能电池现状及应用	741
2 原理、定义和常用参数	686	10 II-VI 族薄膜太阳能电池材料	742
2.1 主要特性	686	10.1 CdS 类薄膜材料	742
2.2 评价材料超导电性的三个基本临界参量	686	10.2 CdTe 类薄膜材料	742
2.3 超导体的磁化特性	687	10.3 CuInSe ₂ (CIS) 类薄膜材料	743
2.4 超导电性的宏观唯象模型和 BCS 微观理论	687	10.4 II-VI 族薄膜太阳能电池的现状和发展趋势	743
2.5 超导体的失超和稳定性	687	第3章 稀土磁性材料	745
2.6 常用参数	688	1 磁性材料概述	745
3 实用系列和主要工艺	688	1.1 物质的磁性	745
3.1 低温超导材料	689	1.2 磁效应	746
3.2 高温超导材料	694	1.3 磁性参量的定义和单位	747
4 应用举例	706	2 永磁材料	748
4.1 超导在强电领域的应用	706	2.1 铝镍钴永磁材料	748
4.2 超导在电子学技术中的应用(弱电领域 的应用)	709	2.2 可加工永磁材料	750
5 展望	710	2.3 稀土永磁材料	754
第2章 新型能源材料	712	2.4 几种新型的稀土永磁材料	764
1 储氢合金材料	712	3 磁致伸缩材料	766
1.1 储氢合金的原理	712	3.1 磁致伸缩现象	766
		3.2 磁致伸缩材料	766

3.3 稀土超磁致伸缩材料	767	2 有色金属元素的环境特征	807
3.4 稀土超磁致伸缩材料的制备	768	2.1 有色金属元素的环境迁移	807
3.5 稀土超磁致伸缩材料的应用	769	2.2 有色金属资源的储量及其寿命	808
3.6 稀土磁致伸缩材料典型规格及性能	769	3 有色金属材料的生态设计	809
第4章 金属基复合材料	770	3.1 通用合金	809
1 概述	770	3.2 简单合金	810
2 金属基复合材料的主要种类	770	3.3 金属材料的再生循环设计	810
2.1 连续纤维增强金属基复合材料	770	3.4 合金元素的生态设计	810
2.2 短纤维增强金属基复合材料	770	4 有色金属类生态环境材料与技术	810
2.3 晶须增强金属基复合材料	770	4.1 合金元素无害化、资源丰富和易于再生 循环	810
2.4 颗粒增强金属基复合材料	770	4.2 围绕降低资源、能源消耗和降低排放进 行的工艺技术结构调整	812
3 金属基复合材料主要品种介绍	771	4.3 发展高效率使用的金属材料	812
3.1 颗粒增强铝基复合材料	771	4.4 铝带的连续铸轧技术	812
3.2 颗粒增强钛基复合材料	781	4.5 金属材料及制品的近终形加工——喷射 成形	812
3.3 晶须增强铝基复合材料	782	5 环境协调的铝电解生产技术与新材料	813
3.4 非连续增强镁基复合材料	783	5.1 铝电解工艺的环境改善	813
3.5 SiC 纤维增强钛基复合材料	784	5.2 环境协调的铝电解技术新材料	814
3.6 金属间化合物基复合材料	786	6 镁工业的环境特征	815
第5章 金属间化合物高温结构材料	788	6.1 镁矿的资源特点	815
第6章 形状记忆合金	789	6.2 镁冶金的环境负荷	815
1 概述	789	6.3 镁制品的环境效能	816
2 化学成分	790	7 有色冶金工业废渣的综合利用	817
3 性能	791	7.1 赤泥堆存的现状	817
3.1 物理性能	791	7.2 赤泥的综合利用	817
3.2 力学性能	791	8 再生有色金属资源利用	818
3.3 形状记忆性能	792	8.1 二次铝	818
3.4 耐蚀性	792	8.2 再生铜	819
3.5 生物相容性	793	第8章 纳米及非晶材料	821
4 特性	793	1 纳米 Ag	821
4.1 形状记忆特性	793	1.1 银纳米材料的性质	821
4.2 马氏体相变特性	796	1.2 银纳米材料的应用	822
4.3 超弹性	797	2 纳米 W 基材料	822
4.4 循环特性	797	2.1 纳米钨合金	822
5 制备与加工	799	2.2 纳米 W-Cu 合金	823
5.1 钛镍合金的制备与加工	799	2.3 纳米钨铜复合材料的应用	823
5.2 铜基记忆合金的制备与加工	801	2.4 纳米硬质合金	824
5.3 铁基记忆合金的制备与加工	801	3 纳米 Ti (或 TiO ₂)	825
6 工艺性能	802	3.1 光催化性及应用	825
7 记忆处理规范	802	3.2 奇异的功能和应用	826
7.1 钛镍合金的记忆处理规范	802	4 纳米 Cu	827
7.2 铜基记忆合金的记忆处理规范	803	5 纳米 Mg	828
8 表面处理	803	6 纳米 Zn	829
8.1 氧化处理	803	6.1 催化及光催化领域的应用	829
8.2 机械处理	803	6.2 光、电及气敏等领域的应用	829
8.3 化学、电化学处理	803	6.3 日用化工及生物医学领域的应用	829
8.4 其他表面处理方法	803	7 纳米稀土氧化物	830
9 选材与应用	803	8 非晶合金	830
9.1 常用记忆合金材料的特点	803	参考文献	833
9.2 形状记忆合金元件设计方法	804		
9.3 形状记忆合金的应用	805		
第7章 生态环境材料	807		
1 材料产业的可持续发展与生态环境材料	807		

第 8 篇

钨、钼及其合金

■ 主 编 王德志 潘叶金

■ 主 审 赵慕岳

■ 编 写 王德志 潘叶金 赵宝华
杨刘晓 陈国兴

第 1 章 概 述

钨和钼是瑞典化学家 C.W.Scheele 分别在 1781 年和 1778 年发现的。属于难熔金属，近一个世纪以来，钨、钼及其合金以其高的熔点、密度、高温强度和硬度等特性而被广泛应用，其工业化生产也得到较快的发展，成为国民经济中一种重要的原料和不可替代的战略物质。

1 钨及其化合物的性质

1.1 金属钨的性质

1.1.1 钨的物理性质

钨的主要物理性质见表 8.1-1，钨的熔点及沸点在所有的金属中是最高的。

表 8.1-1 钨的主要物理性质

原子序数	74
稳定同位素及其在总钨中的含量/%	180 (0.14); 182 (26.41); 183 (14.4); 184 (30.64); 186 (28.41)
相对原子质量	183.86
外层电子结构	5d ⁴ 6s ²
德拜温度/K	400
晶体结构	630℃以上稳定，α-W，体心立方， $a = 0.316\ 522 \pm 0.000\ 009\ \text{nm}$ (25℃) 630℃以下稳定，β-W，立方晶格， $a = 0.504\ 6\ \text{nm}$
密度/g·cm ⁻³	α-W: 19.246 ~ 19.256; β-W: 18.9
熔点/K	3 683 ± 20
沸点/K	5 973 ± 200
临界温度/K	23 000
蒸气压/kPa	$\lg P = \frac{-44\ 000}{T} + 0.5 \lg T + 7.884$ (298 ~ 3 673 K)
熔化潜热/kJ·mol ⁻¹	40.13 ± 6.67
升华热(25℃)/kJ·mol ⁻¹	847.8
蒸发热(沸点)/kJ·mol ⁻¹	823.85 ± 20.9
标准熵/J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹	33.45 ± 0.84
比热容/J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ 与温度的关系式	$c_p = 24.85 - 1.194 \times 10^5 T^{-2} + 1.669 \times 10^{-3} T + 4.234 \times 10^{-10} T^3$ (298 ~ 2 273 K)
298 K	24.02
1 000 K	26.82
2 000 K	31.55

续表 8.1-1

线胀系数 (298 ~ 2 273 K)	
粉末冶金棒	$-8.69 \times 10^{-3} + 3.83 \times 10^{-4} T + 7.92 \times 10^{-8} T^2$
粉末冶金板	$-4.58 \times 10^{-3} + 3.65 \times 10^{-4} T + 9.81 \times 10^{-8} T^2$
电弧熔炼板	$-6.76 \times 10^{-3} + 3.91 \times 10^{-4} T + 8.98 \times 10^{-8} T^2$
电阻率(273 K)/Ω·m (300 ~ 1 240 K)	4.89×10^{-8} $4.334\ 71 \times 10^{-12} T^2 + 2.196\ 91 \times 10^{-8} T - 1.640\ 11 \times 10^{-6}$
(1 240 ~ 2 570 K)	$-4.060\ 12 \times 10^{-12} T^2 + 4.670\ 93 \times 10^{-8} T - 1.941\ 0 \times 10^{-5}$
电子逸出功/eV	4.5
间隙杂质近似溶解度 20℃/10 ⁻⁶	< 0.1
热中子俘获面/m ²	18×10^{-28}

注：T 表示热力学温度，下同。

间隙杂质碳、氮、氧、氢在钨中的溶解度很小（氧在钨中溶解度小于 10⁻⁵），往往以相应的化合物在晶界析出，严重影响其物理和化学性能。间隙杂质含量对钨的塑-脆转变温度的影响见表 8.1-2。

表 8.1-2 间隙杂质含量对钨塑-脆转变温度的影响

制取方法	杂质含量/10 ⁻⁶				转变温度/℃
	C	O	N	H	
真空重熔	400	230	26	30	500
电弧熔炼	300	40	10	2	200
一次区域熔炼	240	10	10	10	100
二次区域熔炼	200	10	10	10	20
预脱碳后区域熔炼	10	10	10	1	-196

1.1.2 钨的化学性质

致密钨的化学性质稳定，在常温下除氟外一般不与其他元素和化合物作用，但在高温下与部分元素和化合物反应。

1) 钨与非金属的反应 表 8.1-3 列出了钨与非金属元素间的反应。

表 8.1-3 钨与非金属元素间的反应

元素	反应条件	产 物	备 注
硼	W + B 粉末混合物坯块 在 500℃的 H ₂ 中 1 h 在 800 ~ 1 200℃的 Ar 中 2 h	W ₂ B, WB, W ₂ B ₅ , WB ₄	硼化物的形成取决于 W/B 比
碳	在 800 ~ 1 900℃反应 800℃ 1 050℃ 1 550℃ 1 900℃	W ₂ C, WC	取决于反应物的形成和气氛 钨箔上 CVD 碳层 细粉混合物 碳粉中的多晶钨丝 碳粉中的单晶钨丝