

钛材料及其应用

TAICAILIAO JIQI YINGYONG

日本钛协会 编 周连在 译 王桂生 校



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

钛材料及其应用

日本钛协会 编

周连在 译

王桂生 校

北 京

冶金工业出版社

2008

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2008-5018

©2007 年 社团法人日本チタン協会編「現場で生かす金属材料
シリーズ チタン」株式会社 工業調査会

图书在版编目(CIP)数据

钛材料及其应用/日本钛协会编;周连在译. —北京:冶金
工业出版社,2008. 11

ISBN 978-7-5024-4743-4

I. 钛… II. ①日… ②周… III. 钛—金属材料
IV. TG146. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 164420 号

出 版 人 曹胜利

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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 李 心 版式设计 葛新霞

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4743-4

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 11 月第 1 版,2008 年 11 月第 1 次印刷

850 mm × 1168 mm 1/32;8.625 印张;1 插页;233 千字;258 页;1-3000 册

29.00 元

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(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

编者名单 (按执笔顺序)

姓 名	工 作 单 位
山田 眞	(社)日本チタン協会
東 和臣	住友チタニウム(株)
石外 伸也	(株)神戸製鋼所
武智 勉	住友金属工業(株)
森口 康夫	元(株)神戸製鋼所
木下 和宏	新日本製鐵(株)
清水 寛史	新日本製鐵(株)
木村千香生	大同特殊鋼(株)
福田 達雄	大同特殊鋼(株)
伊藤 誠司	大同特殊鋼(株)
伊藤 喜昌	アルコニックス(株)
垣生 哲史	古河テクノマテリアル(株)
深澤 英一	東邦チタニウム(株)
小川 厚	JFEテクノリサーチ(株)
渡邊 俊彦	住友軽金属工業(株)
平嶋 謙治	トーヨーテック(株)
小野寺幹男	アルバックマテリアル(株)
兵動 剛二	住友チタニウム(株)
原 宣宏	(株)神戸製鋼所
屋敷 貴司	(株)神戸製鋼所
小川 和博	住友金属工業(株)
山本 孝美	住友金属工業(株)
伊藤 均	(社)日本チタン協会

译者注:(社)——社团法人

(株)——股份(有限)公司

译者的话

本书于2007年5月在日本出版发行。本书由日本钛协会、新日本钢铁公司、神户钢铁公司、住友金属工业公司、大同特殊钢公司等14家大型钢铁企业和科研学术团体的有关专家、工程技术人员编写而成。本书共分四大部分：钛的基础知识，钛材料特性及用途，钛材料制造方法，钛材料加工技术重点。本书汇集学术理论与实践经验于一体，是介绍钛材料比较完整的参考用书。

本书的特点是图文并茂、层次分明，利用实践经验和具体实例详述在工作中遇到的问题以及解决办法，说其是读者的良师益友，不为之过言。

本书可供从事钛及钛合金开发、生产和应用的工程技术人员以及生产第一线的操作者参考。

本书由周连在高级工程师翻译，北京有色金属研究总院王桂生教授审校，并请中国有色金属工业协会钛锆铪分会作序，译者和审校者衷心地感谢北京有色金属研究总院和钛锆铪分会对本书的关怀和支持并提供出版赞助。

在翻译过程中,得到了崔熙翠工程师,周秉琦、周秉超两位高级技师的热情帮助,在此对他们表示衷心地感谢。

由于译者水平有限,欠妥之处,恳请读者予以赐教和指正。

周连在
2008 年

中文版序

钛及其合金具有许多优异的性能,例如低密度,高熔点,高比强度,耐腐蚀,高低温性能好,无磁性,声波和振动的低阻尼特性,生物相容性好,与复合材料的相容性好,具有超导特性、形状记忆和吸氢特性等,而被称为“太空金属”和“海洋金属”,在航空航天、海洋开发、化工、冶金、电力、人体生物材料、体育休闲业、汽车等领域有着越来越广泛的用途。

钛的冶炼和加工是一个技术含量很高的工艺过程。目前,世界上只有美国、俄罗斯、日本和中国具有冶炼—加工—应用—科研这一完整的钛工业体系,其中日本在钛的冶炼和民用钛的加工和应用领域处于世界领先的地位。日本钛工业确实有很多值得我们借鉴和学习的地方。

2007年,日本钛协会组织住友钛、东邦钛、神户制钢、住友金属工业、新日本制铁、大同特殊钢等主要制钛、用钛企业的专家,对钛的性能,标准,日本制钛、用钛的经验进行了全面的总结,编撰了实用金属材料丛书《钛》(即中文版《钛材料及其应用》)一书。

从这本书中,我们可以了解到日本钛工业发展的思路和历程,可以了解到世界范围内钛的新应用和应用的技术要求,可以了解到日本和世界钛工业的发展趋势。也许每个从事钛的工作者,都可以从各自的角度,从该书中得到一定的启示和帮助。

进入新世纪以来,中国钛工业获得了长足的发展,我国已经是一个世界钛工业大国。在中国钛工业蓬勃发展之际,我们希望通过该书的翻译出版,加强中日钛工业之间的交流,进而加强中国钛工业与国际同行间的交流,打造进取的“他山之石”。

中国有色金属工业协会

钛锆铪分会

2008年9月10日

前 言

金属钛的工业生产在日本始于 1952 年(昭和 27 年),开始是以海绵钛作为原料,而钛加工材的生产是在 1954 年(昭和 27 年),钛作为新金属材料刚刚迎来“花甲之年”。从数千年前开始作为特殊利用的铜和铁,以及被称为是新金属的铝和镁,在日本能够进行生产是在 1890 年和 1920 年(有百年的历史),与上述金属相比钛可称之为“婴儿金属”。德国人发现了原矿物金红石,它是一种以氧化物形式存在的未知物质,正如古希腊神话中的巨人“泰坦神-Titan”,音同译成钛(Titanium-Ti),这种音同巧合,实在是令人兴奋。现在的钛工业飞速发展,的确是金属中的巨人“泰坦”,坚强而着实地迈出了一步。

回顾 2002 年日本钛协会以“钛从摇篮期向成长期迈进”的新概念,而召开了 50 周年纪念大会。从海外前来参加的与会者,愈来愈感到在国际化的钛世界中,重新认识日本在完成这方面的任务中的重要作用。这里所谈及的“摇篮期”即为事务的发展开始时期,表达了作为“婴儿金属”的钛从哺乳期向幼年期、少年期的成长过程。

从作为面向制造飞机所使用的特殊材料起,钛就以密度小、强度高、耐腐蚀性能好而集中了三大特点,而应用于一般工业用材料,从此迎来了其成长期的到来,进一步取得了大多数人的理解。在这种情况下,由日本钛协会技术委员会委员及相关工作人员共同努力协作,编写了此书。有关钛方面的书籍近年来略有增多,收集专门

技术情报信息体制的机构也建立起来。本书对于从事钛生产及现场进行加工的工作人员可作为入门的书籍,对钛有何种特性、在哪些方面使用、还有在特定范围内使用时而必须注意的要点,进行了简明的叙述。希望能在现场工作人员的身边放置这样一本书,为遇到困惑不解时,作为具有权威性的参考读物而进行灵活运用。由于钛原料资源丰富而且具备优越特性,确信它对人类的健康会发挥其应有作用。本书根据读者各位的独立见解,期待着对钛的应用有着更大的推动。

社团法人日本钛协会技术委员会
2007 年 5 月

目 录

1 钛基础知识	1
1.1 钛有关方面	1
1.1.1 元素钛的特征与发现	1
1.1.2 金属钛的诞生	2
1.1.3 生产流程及应用	3
1.1.4 产量扩大与需求变化	8
1.1.5 钛材料应用范围	12
1.1.6 世界及日本钛产业形势	15
1.2 钛种类及标准	16
1.2.1 钛材料分类	16
1.2.2 钛材料的种类与特性	17
1.2.3 钛合金	22
1.2.4 日本钛标准(JIS)	23
1.2.5 世界各国钛标准制定	25
2 钛材料特性及用途	28
2.1 航空航天	28
2.1.1 飞机机身部件	29
2.1.2 飞机发动机	34
2.1.3 宇宙领域	37
2.2 化学工业、石油化学工业	39
2.2.1 钛的使用性质	39
2.2.2 对苯二甲酸设备	45

2.2.3	镍精炼设备	48
2.2.4	氢氧化钠设备(食盐电解法)	49
2.3	火力、原子能发电厂	51
2.3.1	钛走向发电厂	51
2.3.2	薄壁焊接纯钛制凝汽器管	52
2.3.3	纯钛包覆钢板制成管板	56
2.3.4	钛合金制蒸气汽轮机低压段最末一级叶片	58
2.4	海水淡化装置	60
2.4.1	薄壁焊接钛管	60
2.4.2	多级快速蒸发海水淡化装置纯钛导热管	61
2.5	海洋土木建筑领域	64
2.5.1	防腐蚀课题	64
2.5.2	钢结构件防腐蚀	65
2.5.3	耐腐蚀结构件	70
2.5.4	混凝土构件防腐蚀	71
2.6	船舶领域	71
2.6.1	船体	72
2.6.2	应用部件	74
2.6.3	目前课题与今后趋向	76
2.7	屋顶、室外装饰、名胜古迹、纪念碑等用材	77
2.7.1	钛建筑材料	77
2.7.2	钛建材基本特性及经济性	78
2.7.3	建材应用技术现状	80
2.8	汽车、两轮车(摩托车)	87
2.8.1	汽车开发与钛材应用历史	87
2.8.2	两轮车(摩托车)的应用	88
2.8.3	四轮车(汽车)的应用	89
2.8.4	各种钛应用部件	90
2.9	体育、休闲用品	96

2.9.1	高尔夫球棍	97
2.9.2	钓具	99
2.9.3	自行车	100
2.9.4	炊事用具(登山)	101
2.10	生活用品	102
2.10.1	手表	102
2.10.2	眼镜	106
2.10.3	壳体	108
2.10.4	装饰品	109
2.10.5	烹调用具	110
2.11	医疗	112
2.11.1	钛对人体的适应性(钛对生物体的相容性)	112
2.11.2	医疗用钛材种类	114
2.11.3	医疗钛材应用例	115
2.12	食品机械	117
2.12.1	一般食品机器	118
2.12.2	酿造机器	118
2.12.3	碱离子净化水装置	120
2.13	形状记忆特性	121
2.13.1	形状记忆特性与超弹性特性	121
2.13.2	形状记忆特性(用于传感器或执行信号元 器件)	121
2.13.3	超弹性特性	124
2.14	储氢合金	130
2.14.1	储氢合金种类	130
2.14.2	氢吸收储存机构	130
2.14.3	氢吸收储存特性	131
2.15	超导	132
2.15.1	电力方面应用	132

2. 15.2	乘坐物(超高速列车)方面应用	133
2. 15.3	医疗器械方面应用	134
2. 16	原子能及核废弃物处理	135
2. 16.1	原子能发电(也称核能发电)	136
2. 16.2	使用完毕核燃料再处理	136
2. 16.3	高档放射性废弃物管理	136
3	钛材料制造方法	139
3.1	海绵钛到钛锭生产过程	139
3.1.1	钛矿石	139
3.1.2	海绵钛	140
3.1.3	海绵钛的其他制造方法	144
3.1.4	钛铸锭	145
3.2	高纯度钛	149
3.2.1	高纯度钛用途	149
3.2.2	高纯度钛制造过程	150
3.3	钛热加工品制造方法	157
3.3.1	钛热加工品与中间制品	157
3.3.2	锻造	158
3.3.3	热轧	161
3.3.4	其他钛制品与加工法	164
3.4	钛冷加工品制造方法	168
3.4.1	冷轧板制造方法	168
3.4.2	钛焊接管特性与用途	171
3.4.3	其他钛冷加工品制造方法	174
3.5	粉末	176
3.5.1	粉末冶金法	176
3.5.2	成形过程	178
3.5.3	钛粉用途	179

3.6 铸造	180
3.6.1 钛铸造要点	181
3.6.2 钛铸件标准	185
4 钛材料加工技术重点	188
4.1 钛切削加工	188
4.1.1 钛材料特性与切削性	188
4.1.2 钛切削特性	189
4.1.3 选定切削条件	192
4.1.4 各种加工方法与注意点	194
4.2 钛表面处理技术	201
4.2.1 意匠性(构思创新性)表面处理	201
4.2.2 耐磨损性表面处理	205
4.2.3 耐腐蚀性表面处理	208
4.3 钛的耐腐蚀性	212
4.3.1 钛、不锈钢、铜合金表面保护膜的特征与 耐腐蚀性	213
4.3.2 整体腐蚀(亦称全面腐蚀)	215
4.3.3 局部腐蚀	220
4.3.4 应力腐蚀开裂	222
4.3.5 流体中的电化学腐蚀	224
4.3.6 异种金属接触腐蚀	224
4.3.7 与某几种气体反应	225
4.3.8 吸氢	228
4.4 钛接合技术	230
4.4.1 接合法	231
4.4.2 有关焊接性要点	233
4.4.3 熔焊	235
4.4.4 钎焊	241

4.4.5 固相接合	242
4.5 钛资源与废弃物再利用	246
4.5.1 钛资源	247
4.5.2 钛为地球上的易得金属	249
4.5.3 钛的废弃物再利用	249
4.6 钛未来展望	251
4.6.1 现状	252
4.6.2 今后课题与展望	254

1 钛基础知识

1.1 钛有关方面

关键词

- α 钛—密排六方晶格的结晶构造,低温侧稳定相。
- β 钛—体心立方晶格的结晶构造,高温侧稳定相。
- 同素异晶转变—纯金属的结晶构造在特定温度下,会发生变化。
- 冶炼—矿石中所含的需用金属以化学的物理的方法进行分离,而后以纯金属或合金的形式存在。
- 海绵钛—多孔质,海绵状的钛原料。
- 加工材—由碾延方法制得的材料,亦称轧制材料。
- UGI(Up Grade Ilmenite)将偏钛酸铁(Ilmenite)中的铁除掉而提高氧化钛的纯度。

1.1.1 元素钛的特征与发现

钛以原子序号 22 的元素在 IUPAC 形式周期表中,它属于第 4 族元素(别称钛族元素),是一种呈现金属光泽的过渡元素。钛族元素中,除钛以外还有锆(Zr)、铪(Hf)、钿(Rf),其共有特征为熔点高,在常温中,由于表面上,形成不动态的氧化薄膜,因而对腐蚀具有高抵抗力。

钛的表征,相对原子质量 47.867 amu、熔点 1667℃、沸点 3287℃、密度在 20℃为 4.54 g/cm³。结晶构造在常温下为密排六方晶格(一般称为 α 钛),同素异晶转变温度在 880℃以上时,成为体心立方晶格(一般称为 β 钛),为稳定相。

钛最早是由英国圣职者(牧师职务)维利阿姆·格雷戈尔