



化工设备设计全书

钛制化工设备设计

化工设备设计全书编辑委员会

上海科学技术出版社

79.518
152
c.3

化工设备设计全书

钛制化工设备设计

主 编

化学工业部第四设计院 王瑶琴

编 写

化学工业部第四设计院 杨泽光
化学工业部设备设计技术中心站 应道宴
上海有色金属研究所 吴成龙
燕山石油化学总公司设计院 王佩珍
北京有色冶金设计研究院 吴敬勳 宋秀贞
岳阳化工总厂设计院 黄其莲

31226/6

上海科学技术出版社

1

内 容 提 要

本分册主要介绍钛制化工设备常用的工业纯钛和钛合金的各种物理、机械、耐腐蚀性能,国内、外常用钛设备的各种不同结构形式、加工制造和检验方法,设备强度计算等。

本分册可供从事钛制设备设计、制造、使用单位的工程技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

化工设备设计全书

钛制化工设备设计

化学工业部第四设计院 王璠琴主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 江苏如东印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 341,000

1985 年 11 月第 1 版 1989 年 1 月第 2 次印刷

印数: 4,101-7,400

ISBN7-5323-0906-1/TQ·14

定价: 7.70 元

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化学工业部设备设计技术中心站组织全国近百个设计、工厂、高校、科研等单位,共同编写了一部《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行系统地阐述,并对化工原理的设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向。总之,本书旨在继续搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,与化工工艺专业人员一起实现化工单元操作的最佳化。

本分册——《钛制化工设备》,较系统地阐述了钛材料的基本性能以及全钛、衬钛、钛-复合钢板制化工设备的设计计算、制造加工和检验等方面的内容。鉴于钛冶金在我国是一门较年青的工业,钛制化工设备目前在国内的应用还不甚普遍,故本分册选取、引用了较多的国外数据和资料,以便开扩思路,作为参考。

本分册经燕山石油化学总公司设计院洪国宝同志校审。其中,各章由下列同志参加编写:第一章 王瑶琴,第二章 应道宴、吴成龙,第三章 杨泽光,第四章 王佩珍,第五章 吴敬勳、宋秀贞、黄其莲。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本分册的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本分册编写和审校的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

1984年

《化工设备设计全书》编辑委员会

主任委员

洪国宝 燕山石油化学总公司设计院

副主任委员

黄力行 南京化学工业公司

李肇璠 化学工业部第六设计院

姚北权 化学工业部第四设计院

琚定一 华东化工学院

寿振纲 国家医药管理局上海医药设计院

金国森 化学工业部设备设计技术中心站

委员

张冠亚 兰州化学工业公司设计院

杨慧莹 化学工业部第八设计院

汪子云 化学工业部化工设计公司

卓克涛 化学工业部第一设计院

苏树明 广东省石油化工设计院

目 录

第一章 概论	1
第一节 钛材和钛制设备	1
一、钛材简介	1
二、钛制设备的发展	1
三、钛制设备在化工中的应用	2
第二节 设计钛制设备的注意事项	3
一、使用范围	3
二、材料选择	4
三、结构和零部件设计	4
四、技术要求	5
五、其他	6
第二章 钛及钛合金性能	7
第一节 钛及钛合金分类	7
一、钛材的分类及牌号	7
二、化工设备常用钛材	7
第二节 物理性能	10
第三节 机械性能	15
一、工业纯钛的机械性能	15
二、钛合金的机械性能	23
三、杂质元素对钛及钛合金机械性能的影响	27
第四节 钛及其合金的耐腐蚀性能	29
一、钛的耐腐蚀特性	29
二、钛在常用化学介质中的耐腐蚀性	44
三、钛合金在化学介质中的耐腐蚀性	68
第五节 合金和杂质元素对钛耐腐蚀性能的影响	76
一、合金元素对钛耐腐蚀性能的影响	76
二、杂质元素对钛耐腐蚀性能的影响	79
第六节 国内钛材的品种规格	82
一、冶金部标准规定的尺寸及偏差	82
二、企业供应的钛材品种规格	84
第三章 强度计算	90
一、最小壁厚	90
二、安全系数与许用应力	90
三、焊缝系数	91
四、强度计算方法	92

第四章 结构设计	96
第一节 全钛制设备	96
一、选用原则	96
二、结构特点	96
三、零部件结构	96
第二节 钛衬里设备	101
一、选用原则.....	101
二、衬里方法概述.....	106
三、设计特点.....	107
四、衬里设计的考虑因素.....	107
五、衬里结构设计.....	107
第三节 钛复合钢板制设备	116
一、选用原则.....	116
二、复层厚度.....	117
三、结构设计.....	117
第四节 钛制换热器	121
一、固定管板式换热器.....	122
二、U形管换热器.....	130
三、填料函式换热器.....	130
四、盘管换热器.....	130
五、套管换热器.....	132
六、板式换热器.....	132
第五节 塔	131
一、塔体.....	134
二、塔盘板.....	134
三、塔盘板的固定.....	134
第六节 反应釜	139
一、搅拌轴材料和结构形式.....	139
二、搅拌器形式.....	139
三、搅拌轴支承结构.....	140
四、搅拌附件——挡板.....	140
第七节 密封特点和垫片	143
一、密封特点.....	143
二、垫片形式和材质.....	144
第五章 钛制设备制造工艺	148
第一节 铸造与粉末冶金	148
一、铸造.....	148
二、粉末冶金.....	150
第二节 压力加工	151
一、钛及钛合金压制成型特性.....	151
二、弯曲变形.....	152

三、冲压成型	154
四、锻造	156
五、胀管	158
六、卷边	159
第三节 焊接	160
一、熔融焊	160
二、爆炸焊	171
三、钎焊	178
第四节 切削加工	181
一、钛的性能对切削加工的影响	181
二、钛材切削加工的基本原则	181
三、钛的各种切削加工	182
第五节 衬里	185
一、活套衬钛法	185
二、机械连接法	186
三、机械撑紧法	186
四、热套法	187
五、热压胀法	187
六、滚压法	188
七、爆炸衬里法	188
八、局部固定衬里法	190
第六节 钛及钛合金的热处理	190
一、工业纯钛(TA1、TA2、TA3)的热处理	190
二、TC4(Ti-6Al-4V)的热处理	191
三、Ti-32Mo-2.5Nb的热处理	193
四、热处理中的几个问题	193
第七节 表面处理	194
一、机械处理	194
二、表面镀钌	194
三、氮化处理	196
四、涂钎	198
五、阳极化处理	200
六、表面铁污染检查	205
附录	207
一、国外化工设备常用的钛及钛合金	207
二、钛管焊环(Ti-Pd02)活套法兰	213
三、钛复合钢板标准——日本锅炉协会(包括编制说明)	216
四、日本工业标准(JISZ 3107-1973)	218

第一章

概 论

第一节 钛材和钛制设备

钛和钛合金是一种新兴的、又很有发展前途的金属材料。它具有比重轻、强度高、耐腐蚀性能好等突出的优点。目前广泛用于航空、宇宙开发、海洋工程、石油、化工、轻工、食品加工、冶金、电力、医药卫生、仪器仪表等部门。

一、钛材简介

钛在地壳中的蕴藏量极为丰富，仅次于氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾和镁，居第九位，约占地壳重量的千分之六。据介绍目前美国海绵钛总生产能力为 21772 t/a，苏联为 35000 t/a。

由海绵钛或粉末钛制钛材的方法分别是，一、以海绵钛为原料，经熔炼、铸锭后，通过不同加工工序制成各种加工材，如型材、板材等。这种方法在铸锭及成型过程中成材率低、废料多（我国一般需 2.5 t 海绵钛才可轧制成 1 t 钛材），但加工材的性能，一般说比粉末冶金产品好，是目前各国钛材生产的主要方法。二、以粉末钛为原料的粉末冶金法，即以合格的钛粉末为原料，用各种压制工艺压制成型。压制工艺可用冷压加烧结、热压、粉末锻造、粉末轧制等。粉末冶金法成材率高，且易于制造形状复杂的制品，可减少切削加工量，是近年来发展较快的一种加工方法。

我国钛资源非常丰富，是钛蕴藏量最丰富的国家之一。目前冶金部门已能生产各种规格的板、管、棒、带、丝、锻件、铸件、粉末制件、钛-钢复合板等产品，并已形成了具有一定规模的、较完整的钛工业体系。

二、钛制设备的发展

钛材价格比较贵，但和其他金属材料相比，却有比强度高等优点。因此在 50 年代初期，钛开始工业生产后，多用于航空等军事工业。钛材作为设备结构材料，在一般民用工业生产中应用，则是在 50 年代末期。1957 年日本最先把工业纯钛作为一种耐腐蚀材料用于化学工业，解决了某些设备存在的严重腐蚀问题。多年来，日本的钛加工材大部分用于化工等民用工业方面（约占 80~90%），每年约有 1500 吨钛用于化工上。最近日本还将海水淡化列入国家计划，这更需要大量钛制设备。美国在 1961 年时，一般民用工业的钛材用量只占全国钛用量的 5%（约 254 t）。1968 年以后，民用工业用钛量剧增，1979 年钛加工材约有 30% 用于民用工业（5400 t）。近年来，美国钛用量稳定在航空占 70% 左右，宇航 3~5%，一般民用工业 25~30% 的比例。苏联从 1960 年开始采用钛制设备和管道，其钛材使用分配比例，大体上与美国相仿。西欧各国在 1978 年以前，钛材主要用于民用工业上（占 70%），但 1978 年以后，由于加强空军，民用工业用钛量比例有所下降。在这种急剧的民用工业生

产需要情况下,纯钛的耐腐蚀性能和耐腐蚀钛合金的研究,也获得了较快的发展。

钛材在我国首先用于军事工业,其他工业部门的应用始于60年代中期,但当时只作为设备的内件或零部件(温度计套管、电解制取高纯镍、钴用的阴极母板等)。1970年由钛复合钢板制的二甲苯氧化塔投入生产。1972年以后又几乎有70~80%用于化工、轻工等行业。如氯碱工业相继使用钛制湿氯冷却器和涂钉钛制阳极板,代替石墨冷却器和石墨阳极;漂白工业的钛制亚氯酸钠漂白机由进口改为自制;造纸工业的二氧化氯反应器、热交换器、氨水泵;冶金工业的镍电解用的氯化镍电解液净化盘管加热器、硫酸溶解镍钴矿用的过滤器、辉钼精矿的高压分解釜、湿法冶金提取镍和钴用的压力釜、湿法炼锌中的污水泵;化学工业中电镀镍用的阳极网筐及其加热器、电抛光用的阳极挂钩等等,也都相继使用钛或钛合金制造。制造部门也已有成套供应钛换热器的制造厂。

三、钛制设备在化工中的应用

国外钛制化工设备的品种很多,有塔器;容器(包括反应釜、搅拌器、过滤器等);各种形式的换热器(如列管、U型管、蛇管、套管换热器,板式、螺旋板式换热器,冷凝器,蒸发器);不同型号的泵和阀门等。目前较大的容器和塔器的直径都已超过3M。高压(操作压力151kgf/cm²、温度200°C)衬钛容器的直径达2200mm,高压(操作压力151kgf/cm²、温度185~210°C)换热器的换热面积达1000m²。这些钛制化工设备的应用,多集中在有强腐蚀性介质的部门。如日本的化工用钛有50%用于氯化物;25%用于硫酸;10%用于硝酸;15%用于尿素、乙醛、丙酮等。在日本建一座年产6万吨乙醛工厂用钛20t,建一座年产3万吨丙酮厂用钛40t。苏联的化工用钛的分配比例是,氯碱占65%;纯碱、氯化物和硫酸占12%;稀硝酸占14%;人造纤维占9%。而美国的化工用钛,却主要在乙醛工厂,其次是乙烯和尿素。

在近年来引进的化工装置中,有一些钛制设备。如从西德UHDE公司引进的乙醛装置中的尾气冷凝器、触媒过滤器、粗乙醛贮槽、旋风器等,都是全钛制设备。从日本引进的对苯二甲酸二甲酯装置的洗涤槽、换热器、冷凝器;聚丙烯催化剂三氯化钛装置中的卧式反应器;尿素装置的尿素合成塔,多采用钛衬里结构。

国内设计、制造的钛制化工设备,多为容器和列管式换热器,其他尚有泵、阀和塔器。主要用在下列部门:

1. 氯碱工业:是我国目前钛制设备用得最多的部门。所用设备有列管式湿氯冷却器、食盐电解槽阳极、脱氯塔加热管、含氯淡盐水真空脱氯用泵和阀门。

2. 合成纤维工业:是国内钛制设备用得较早的部门,目前用的钛制设备有:①聚酯(涤纶)生产中的氧化塔;②己内酰胺(锦纶)生产中的光化反应器、二盐水解中间加热器,羟胺换热器等;③聚乙烯醇(维尼龙单体)的原料——醋酸乙烯生产中的氧化反应器等。

3. 化工原料工业:有①顺酐生产中的恒沸塔、冷凝器、蒸发器、汽水分离器;②丙酮生产中的氧化塔、碳化塔、管道、阀门等;③环氧氯丙烷生产用的反应釜搅拌器等;④硝基甲烷生产用的硝酸汽化器喷头等。

4. 化肥和农药工业:有①联碱生产中的蒸发器、冷却器;②尿素生产中的二氧化碳汽提塔、一段分解加热器、一段甲铵泵、高压泵组合阀等。尿素汽提塔是我国目前自行设计、制造的较重型的钛衬里设备。

钛材的缺点是价格较贵,加工制造有一定要求,制造费用较大。按目前瑞典材料公司 SANDVIK 的价格, $\phi 27 \times 2.5$ 钛管的单位重量价格是 2RE 69 即 00Cr25Ni22Mo2N 不锈钢管的 4.5 倍。国内钛管的单位重量价格也相当于铬镍型不锈钢的 4 倍左右。但由于其比重小、强度高、耐腐蚀性能好,设备壁厚减薄、重量减轻后,同一装置由不锈钢或其他材料改成钛材后,设备成本费只增加几倍,而使用寿命却提高十几倍,几十倍,且提高了设备效率。尤其是冷凝和换热设备,由于钛的浸润性非常小,不会使液体生成膜状冷凝,只能生成容易脱落的滴状冷凝,这种冷凝比薄膜更为有益,使冷凝更趋于完全。同时也由于钛表面有难以沾湿的膜,使锈垢不易附着,因而污垢系数值较小,提高了传热系数,有效的回收或节约了能量。据介绍,国外某公司盐水冷却器,改为钛材后,经实测传热系数从原设备的 $928 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 提高到 $1728 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 。因此钛制换热器是钛制设备中一个重要领域。

第二节 设计钛制设备的注意事项

一、使用范围

钛虽是一种耐腐蚀的金属,但也并不是可以适用于一切化工腐蚀介质。即使是同一介质,钛也和其他耐腐蚀金属一样,耐腐蚀程度随介质的温度和浓度不同而有区别。钛在某些介质中腐蚀率虽高,但加入一些氧化性酸或重金属离子,可以取得显著的缓蚀效果;钛在某些介质中不耐腐蚀,或易产生应力腐蚀,不能使用;钛对某些介质还会产生自燃爆炸现象,严禁使用。因此,选用钛制设备时,除了注意介质的温度外,还应注意介质的成分、浓度、含水量(因为钛的保护性氧化膜通常是碰到水时形成的,即使水极微量或以水蒸汽形式存在。如果把钛暴露在完全没有水的强氧化性环境里,就能发生快速氧化并产生剧烈的常常是自燃的反应)等。从综合国外资料及目前国内已发生的爆炸事故看来,钛不能用于 1) 浓度 $>98\%$ 或含 $>6\%$ 游离二氧化氮的发烟硝酸,避免引起自燃爆炸(即使现场挂片试验时,没有燃烧现象); 2) 氯气中含水量 $<0.1 \sim 0.3\%$ 的干氯气(如国内的钢瓶氯气,因钛与干氯气发生激烈的反应,生成四氯化钛,放出大量热,有着火的危险),当处于高速转动时,干氯气的水含量应提高到 $<1.5\%$; 3) 液氧和某些氧分压高的水溶液,因为钛在液氧中有冲击敏感性,如果钛存在新鲜表面,在 3.5 kgf/cm^2 压力、室温时就会自燃。对含有氢的腐蚀介质,除了考虑介质的腐蚀外,应充分重视氢对钛的危害性。钛制设备要求避免受铁的污染,很重要的一点是为了避免钛的氢化作用。设计者往往重视铁污染而忽视由于各种原因产生的氢使钛吸收而产生环境氢脆,这是很危险的。

根据钛的化学及力学性能,全工业纯钛制设备操作温度应该低于 250°C , 间断使用受力不大,在氧化性气氛中使用的全工业纯钛设备,可以提高使用温度,但应在 420°C 以下。一般来说,在没有经过广泛试验情况下,工业纯钛不宜作为温度高于 330°C 以上的化工设备使用,钛衬里设备的最高使用温度不超过 200°C , 大于 200°C 时应选用钛-钢复合板制设备。目前耐热钛合金的长期工作温度还没有超过 500°C , 一般控制在 450°C 左右。钛的低温性能较好,使用范围较广。纯度高的工业纯钛或间隙元素极低的 $\alpha + \beta$ -钛合金一般能满足化工低温生产要求。

钛制设备的直径及使用压力范围较广。直径大、压力高时可选用钛衬里或钛复合钢板

结构。

二、材料选择

钛材有三种不同类型： α -钛合金、 β -钛合金、 $\alpha+\beta$ -钛合金。其耐腐蚀和机械、加工性能等都有所区别，国内列入冶金部标准的钛材虽已有 20 种，但可用于化工设备的只有有限的几种。设计者应根据设备使用条件、零件所处位置、要求加工程度等不同情况而选用不同牌号的钛或钛合金。

一般来说，工业纯钛（ α -钛合金）由于其耐腐蚀性比一般钛合金好，强度虽不如某些钛合金高，但价格比钛合金低、塑性好、易于加工成型，因此是钛制化工设备的常用材料。工业纯钛中的 TA1 一般用于要求变形量较大的场合，换热管多用 TA2，要求耐摩擦及较高强度时用 TA3；当介质是非氧化性又无缓蚀剂的场合，应选用耐腐蚀钛合金，但必须注意其加工制造性能、材料的塑性指标等；对那些容易产生缝隙腐蚀处的零件最好选用钛钡合金或经镀钡处理的钛；承受较大应力的紧固件和锻件等可选用机械强度高的钛合金 TC4。用于强腐蚀介质的钛材，尤其是焊接件母材及焊丝的铁、氢含量应控制在更低的水平上，避免焊接过程中产生富铁 β 相，产生电化腐蚀。

三、结构和零部件设计

钛制化工设备有两种结构形式，一是钛材既承受介质压力，又承受介质腐蚀的全钛制设备；二是介质压力由外壳材料承受，钛材只承受介质腐蚀的衬里结构。后者又根据钛衬层和外壳的结合、连结或消除间隙的方法不同，分为钛衬里结构和钛-钢复合板制设备两种。设计时应根据介质的压力、温度、设备的外形及几何尺寸、操作情况等，经济、合理、可靠的选用不同形式。一般来说，压力、温度低的小型容器，可用全钛制，反之，可用衬里结构（包括塔器）。钛衬里设备只适用于无内外热交换，不会发生突然压力降或温度剧烈变化和荷载频繁变化的场合，钛-钢复合板制造的设备可以使用的温度、压力范围较广，也可用于受真空或设备内件需要固定在衬层等局部受力条件恶劣的场合。

设计钛设备和零件时必须注意以下几个问题：

1. 钛材较贵，为经济、合理使用钛材，在不与腐蚀介质接触的部位，应尽量不用钛制零件。如接管或设备筒体的法兰多选用钢制活套法兰，钛管板不延伸兼作法兰，采用钢卡箍卧式支座等等。但由于钛钢之间连接需采用机械方法（在某些不需要承受载荷情况下，可以采用银钎焊），致使某些节点设计有困难或使节点结构复杂化时，应根据材料费用和制造费用综合考虑，必要时仍选用钛材。如全钛设备的起重吊耳等。

2. 钛的机械性能随温度而改变的情况，较一般碳素钢、合金钢大。其强度指标随温度上升而下降，如 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时的抗拉强度和屈服强度为常温时的一半。因此，即使在设计温度不高的情况下，也应按设计温度下的强度值选取。钛的屈强比高、持久强度好，因此，设计温度在 316°C 以下时，决定设计强度指标的往往是该温度下的抗拉强度值。对工业纯钛来说，是不能通过热处理来提高强度指标值的。

钛的热膨胀系数小，当钛和其他材料联合使用时，要注意膨胀差引起的应力。

3. 钛的焊接多采用非熔化极惰性气体保护焊（直流正接）。因此，焊接接头位置要设在焊接时便于进行惰性气体保护处；焊缝尽可能采用对接，厚度超过 3mm 板材应开坡口。钛

焊接时易产生气孔,适当提高焊缝形状系数(焊缝断面的宽与深的比值),有助于防止气孔的产生。因此,坡口角度可以比钢制的略大一些。坡口的钝边高度低一些,以保证焊透。为避免焊接接头塑性下降,钛焊接要求小电流、快速焊。因此坡口间隙要小。为此,设备的纵焊缝、环焊缝二侧的不平行度;筒体端部与筒体母线的下垂度应有所控制。活套法兰的焊环内径或设备筒体管孔与管子之间隙也应比钢结构小。由于钛的焊接接头综合性能较差,焊缝应避免位于受力最大处。

4. 工业纯钛和 α -钛合金压力加工时的塑性变形范围少,容易产生破裂。而提高变形速度、降低变形温度等都可能引起加工中的破裂。因此,最好不要设计变形量大的冷加工件;在需要翻边的地方,弯曲半径尽量取得大一些;用强度胀连接的管子与管板管孔之间的间隙公差要小,以免钛管胀裂。

5. 选用钛螺栓时,必须考虑由于钛在常温下也有蠕变现象而产生应力松弛问题,最好不用钛螺栓作强制密封的连接件。当因耐腐蚀须用钛螺栓时,结构设计需考虑易于定期拧紧螺栓以保证密封。钛和不锈钢一样,也具有摩擦粘结、咬合现象。钛螺纹易咬合,可使用异种材料或较大间隙的螺纹配合或用适当的润滑剂解决。应少采用需要攻丝的内螺纹,尽量选用带退刀槽的车制螺纹结构。

6. 结构设计时要最大限度地消除缝隙和可以存水的凹处(如用焊接代替螺栓连接,用对接焊代替塔接点焊等),以避免钛在某些介质中发生缝隙腐蚀现象。尤其是钛与四氟形成的缝隙,比钛-钛之间的缝隙还容易受到腐蚀,因为钛对于含有少量可溶性氟化物的溶液是不耐腐蚀的,氟化物使钝态破坏。因此,在使用聚四氟乙烯塑料垫,含氟的橡胶垫圈和粘结剂时应特别谨慎。

7. 受压壳体内衬钛要比衬其他金属材料困难得多,钛衬里设计,除了考虑一般衬里设备的特点,如:绝对避免腐蚀介质与外壳材料有任何接触的可能;外壳上应设置一些检漏孔,检查衬里层的焊缝(包括复合板复层的纵、横焊缝处的盖板与复层的角焊缝)质量;外壳焊缝内表面应磨平、磨光、圆滑过渡等,除此以外还应注意:

(1) 钛衬里层焊缝坡口形式,要严格防止衬层在设备内焊接时,钛和外壳材料(包括复合板的复层和基层)有互溶的可能,以免铁金属等溶于钛焊缝中,形成硬而脆的金属间化合物,严重减低焊缝塑性和耐腐蚀性能;同样,钛衬里在钢外壳上固定不能用塞焊或条焊,只能用爆炸焊接、机械固定和钎焊联合使用。

(2) 有可能受负压操作的钛衬里层,用加强环加强,也可以隔一定距离用局部爆炸焊接或机械法固定于壳体。钛制内件如果需要固定在衬里层时,该处衬里层要加强,最好用钛-钢复合板结构。

(3) 钛衬里与外壳之间隙要尽量小,特别是当容器压力较高时,以防止衬层焊缝在试压和有温度操作时拉裂。由于操作压力需要设备壳壁较厚时,最好采用组合结构,如用钛-钢复合板作内筒,外包扎层板、绕板等。

四、技术要求

化工设备能高效、安全的运行,制造质量是很重要的一环,尤其是钛制设备。钛合金的加工工艺、组合性能之间存在着密切关系,有时甚至是决定性的因素,往往由于制造质量不好,而使设备不能安全运行、报废或大大降低设备的使用寿命。

钛对表面缺陷敏感性大,忌讳表面有缺陷,而钛的摩擦系数大、化学活性高,在加工制造过程中表面又极易受擦伤或污染。如钛在焊接、加热等过程中,保护用的惰性气体纯度不够,加热炉内气氛不合要求;使用不合适的工具、工作场地、与其他金属接触等,这些情况对钛的耐腐蚀性能和机械性能都有较大的影响。如钛能耐高温、高浓度的一氯醋酸溶液的腐蚀,但钛表面若被铁或铜粉所污染,就会产生腐蚀现象;钛表面铁污染给氢扩散到钛内提供了有利通道,致使氢脆;加热炉气氛不合要求,钛吸收气体而变脆。对钛—钢复合板来说,除表面污染外,为避免钛和钢的内扩散,从而构成易脆的金属层,降低结合强度,热作温度就不能太高(不超过 600°C 的热作)。

钛的焊接变形大,校形困难;钛在冷加工时,易产生裂纹;弯曲变形时,弹性回弹量大,不易得到正确形状;其冷作硬化倾向的强化程度随变形速度而加剧;变形速度对加工零件的极限程度和质量都有很大影响。更不利的是钛制设备不容易返修好,有时会产生愈返修效果愈差的情况。针对钛的这些特性,因此,钛制设备的技术条件,除了为保证化工工艺过程,必须对原材料成分、制造、装配、检测方法等提出要求外,应按钛设备类别提出某些特殊的制造要求,并要求严格按制造工艺规程进行加工制造。为了消除表面铁离子污染,设备制造后宜要求阳极化处理。

五、其他

钛设备投产后,要达到安全运行,正确的操作、维护、使用也是很重要的。尤其是钛衬里设备,往往承受一定温度与压力。钛膨胀系数较钢的小,为避免产生过大的局部热应力,致使钛衬层被拉裂,因此操作时要严格控制升压、升温和降温速度,尤其是降温速度。如某引进厂对受压的钛衬里设备规定:无论在何种情况下,不得使内部温度下降到比塔壁温度低 50°C 以下;升降温应按升降温曲线进行。又如在化工生产工艺介质中,某些杂质会破坏钛的氧化膜,因此操作中应控制这些杂质含量,如尿素生产中的硫化氢含量等。

第二章

钛及钛合金性能

第一节 钛及钛合金分类

一、钛材的分类及牌号^{〔1〕}

(一) 种类

大多数的工业钛合金退火状态的组织(常温)是单相 α 相或 β 相,以及 $\alpha+\beta$ 两相共存。由此钛合金可分为:

1. α -合金为 α 相结构,如碘化钛(TAD)、工业纯钛(TA1、TA2、TA3)、Ti-0.15Pd、Ti-0.3Mo-0.8Ni等。
2. β -合金为 β 相结构,如Ti-32Mo、Ti-32Mo-2.5Nb等。
3. $\alpha+\beta$ -合金是 $\alpha+\beta$ 相结构,如Ti-6Al-4V、Ti-7Al-4Mo等。

上述钛合金,我国分别以拼音字母TA、TB、TC表示,并在其后附以数字号码以资区别。

(二) 牌号

我国冶金部门目前已列入标准的钛及钛合金牌号已有20种。TAD是碘化钛,TA1~TA3代表三种不同纯度的工业纯钛,TA4~TA8是 α -钛合金;TB1~TB2是 β -钛合金;TC1~TC10是 $\alpha+\beta$ -钛合金。表2-1所示为YB761-70规定的钛及钛合金牌号及化学成分。

由于各工业部门对钛及钛合金的使用要求不同,又根据钛及钛合金的各种特性,发展了各种不同用途的钛合金。化工部门所使用的钛材,多着眼于其优良的耐腐蚀性能,因而工业纯钛的使用是最普遍的,其次是Ti-0.2Pd、Ti-32Mo及Ti-0.3Mo-0.8Ni等耐腐蚀钛合金,而Ti-3Al及Ti-6Al-4V等合金也得到了某些应用。

为了充分利用钛的资源,我国冶金部门还制订了回收料钛材的有关标准——Q/BS108-73,规定了利用钛回收料冶炼的工业纯钛(TF₁)的化学成分,如表2-2所示。

二、化工设备常用钛材

(一) 工业纯钛

1. 工业纯钛:用碘化法获得的钛,其纯度最高可达99.95%以上。主要杂质含量,如氧低于0.01%,氮低于0.006%,铁低于0.03%,其他尚有极微量的钾、铝、锰、硅、镍、钼、氢等元素。由于碘化钛机械强度太低(抗拉强度22~29kgf/mm²、屈服强度12~17kgf/mm²,塑性、韧性很好,延伸率达50~60%,冲击韧性大于25kgf·m/cm²),因此一般不用作结构材料,主要用于电子器材方面。化工设备常用的工业纯钛杂质含量比碘化钛稍高。根据其杂质含量可分为三个级别,即一级工业纯钛(TA1)、二级工业纯钛(TA2)、三级工业纯钛(TA3),其纯度依次降低。工业纯钛有两种同素异晶体,在低温时为密排六方

表 2-1 化学成分(YB761-70)

牌号	化学成分组	主 要 成 分 (%)											杂 质 (%) 不 大 于						
		Ti	Al	Cr	Mo	Sn	Mn	V	Fe	Cu	Si	B	Zr	Fe	Si	O	N	H	O
TA0	碘化钛	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA1	工业纯钛	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA2	工业纯钛	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA3	工业纯钛	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA4	Ti-3Al	基	2.0~3.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA5	Ti-4Al-0.005B	基	3.3~4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA6	Ti-5Al	基	4.0~5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA7	Ti-5Al-2.5Sn	基	4.0~5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TA8	Ti-5Al-2.5Sn-3Cu-1.5Zr	基	4.5~5.5	—	—	—	—	2.0~3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TB1	Ti-3Al-8Mo-11Cr	基	3.0~4.0	10.0~11.5	7.0~8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TB2	Ti-5Mo-5V-3Cr-3Al	基	2.5~3.5	7.5~8.5	4.7~5.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC1	Ti-2Al-1.5Mn	基	1.0~2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC2	Ti-3Al-1.5Mn	基	2.0~3.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC3	Ti-5Al-4V	基	4.5~6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC4	Ti-6Al-4V	基	5.5~6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC5	Ti-5Al-2.5Cr	基	4.0~6.2	2.0~3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC6	Ti-5Al-2Cr-2Mo-1Fe	基	4.5~6.2	1.0~2.5	1.0~2.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC7	Ti-6Al-0.6Cr-0.4Fe-0.4Si-0.01B	基	5.0~6.5	0.4~0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC8	Ti-6.5Al-3.5Mo-0.25Si	基	5.8~6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC9	Ti-6.5Al-3.5Mo-2.5Sn-0.9Si	基	5.8~6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TC10	Ti-6Al-6V-2Sn-0.5Cu-0.5Fe	基	5.5~6.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 1. 杂质 N 和 O 含量报实测数据, 供参考。但按 YB764-70 生产的焊丝, N 和 O 含量必须保证。

2. TA8、TB1、TB2 为试用合金。

表 2-2 回收料化学成分(Q/BS 108-73)

牌 号	合金名称	主要成分	杂 质 含 量 (%) 不 大 于					
			Ti	Fe	Si	*C	N ₂	H ₂
TF ₁	纯 钛	基 体	0.4	0.15	0.1	0.05	0.015	0.30

晶格, 一个晶格中含六个原子, 称为 α 相, 如图 2-1 所示。图示的六角柱体, 其晶格参数 a (边长) 为 2.95 \AA , c (高) 为 4.68 \AA 。在 882.5°C 以上的高温稳定态为体心立方晶格, 称为 β 相, 其晶格参数 a (边长) 为 3.306 \AA (900°C 时)。由于工业纯钛的杂质含量以及成分的不均匀性, 因此工业纯钛的相变温度有一定的波动范围。杂质含量高, 其相变温度就高。TA 1~TA 3 的相变温度范围为 $890\sim 920^\circ\text{C}$ 。工业纯钛具有一定的强度、塑性、韧性和高的耐腐蚀性能以及良好的可焊性。一定量的杂质能提高工业纯钛的强度, 而相应地降低了它的塑性和耐腐蚀性能。TA 1、TA 2、TA 3 的最小抗拉强度分别为 35、45、55 kgf/mm^2 。其化学成分及杂质允许含量见表 2-1 所示。使用时, 可根据不同部件的要求进行选取。目前这三种级别的工业纯钛都被广泛采用。当需要最好的成型性能时(如衬里), 可采用塑性最好, 强度最低的 TA 1, 而 TA 2、TA 3 可根据耐腐蚀性能及加工制作的要求用作设备筒体、封头、换热管等。

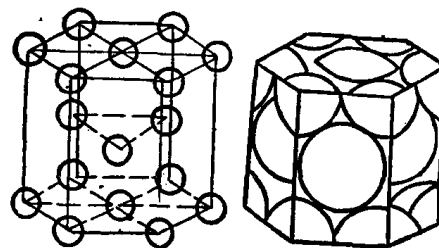


图 2-1 工业纯钛的结晶组织——密排六方晶格

2. 回收料工业纯钛: 采用回收料制成的工业纯钛(TF1), 由于杂质含量较高, 材料的塑性较差, 一般仅用于制作阀体等加工冷变形不大的部件。

考虑到焊接时吸收气体, 用于工业纯钛设备的焊丝, 一般要选用比母材纯度高一个级别的工业纯钛焊丝。

工业纯钛的使用状态为退火状态。高温退火(再结晶退火)的工艺为 $680\sim 700^\circ\text{C}$, 保温半小时到 2 小时, 空冷。

(二) 钛合金

1. Ti-6Al-4V: Ti-6Al-4V 是 $\alpha+\beta$ -钛合金, 是钛合金中使用较为广泛的一种合金, 合金牌号称为 TC4, 其化学成分见表 2-1 所示。该合金采用 Al、V 合金化提高了强度, 在退火状态下, TC4 锻件和棒材的抗拉强度可达 $90\sim 95 \text{ kgf/mm}^2$ 以上, 延伸率为 10% 以上。在 400°C 下, TC4 仍具有良好的强度和高的热稳定性。通过淬火及回火热处理尚能进一步提高强度水平。因此 TC4 主要用于要求承受较高应力或要求比强度高零部件中, 如阀片、化工设备中的锻件、紧固件等。它的耐腐蚀性比工业纯钛稍差。通常 TC4 锻件及棒材的热处理工艺为 $700\sim 800^\circ\text{C}$, 保温 1~2 小时, 空冷(再结晶退火)。

2. Ti-0.20Pd: Ti-0.20Pd 是在纯钛中加入约 0.20% Pd(钯) 制成的钛-钯合金, 该合金的组织为 α 相。表 2-3 所示为英国 IMI 公司钛-钯合金规定的化学成分。

钛-钯合金的机械性能与工业纯钛相近, 但它在中等的还原性介质中(如低浓度的还原性酸-硫酸、盐酸中)以及处于氧化-还原交变环境中的耐腐蚀性比工业纯钛要优越得多, 而且在氧化性介质中的耐腐蚀性也好, 特别用于抗缝隙腐蚀的部位, 如法兰密封面和金属垫圈