

石化装置用工业纯钛的焊接

李芳红¹, 张建晓², 贾小斌², 尉洪阳², 方 婧², 王子伟²

(1.兰州交通大学 机电学院,甘肃 兰州 730070;2.兰州兰石机械设备有限责任公司,甘肃 兰州 730050)

摘要:工业纯钛是一种极为优良的耐腐蚀材料,在石油化工设备上得到广泛应用,由于钛的活泼性和对加热敏感性,因此钛设备的制造,焊接是关键工艺,特别是大型衬钛设备的制造,焊接工作量很大,如何保证质量是生产钛设备的主要问题。本文结合衬钛设备的结构,主要对工业纯钛手工钨极氩弧焊的保护效果,焊接规范参数的选择进行了试验分析,初步掌握了工业纯钛的焊接工艺,并对焊缝的气孔、焊缝金相组织和焊缝污染程度对质量的影响进行了讨论。

关键词:工业纯钛,焊接工艺,衬里

中图分类号:TG457.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-2303(2007)12-0069-05

Welding of pure titanium on petrification device

LI Fang-hong¹, ZHANG Jian-xiao², JIA Xiao-bin², YU Hong-yang², FANG Jing², WANG Zi-wei²

(1.School of Mechano-electronic, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2.Lanzhou Lanshi Machinery Equipment Co.Ltd., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Pure titanium is a kind of excellent corrosion resistance material, it is widely used on petrification device, because of its vivacity and sensibility to heat, welding is becoming the key process on manufacturing titanium device, especially for great titanium lining device. The article combines the structure of pure titanium lining device, the effect of shielding on pure titanium using TIG welding technique and the choice of welding procedure parameters is analyzed, factors influencing the quality are also discussed.

Key words: pure titanium; welding procedure; lining

0 前言

工业纯钛是一种优良的耐腐蚀材料,广泛应用于石油化工设备。在化肥生产中,尿素合成反应的中间产物具有强烈的腐蚀性,应用钛作为尿素设备的衬里材料,较316L不锈钢对尿素中间产物有更好的耐蚀性。我国钛矿储量丰富,因此钛及其合金作为石油化工设备的新型抗腐蚀材料有广阔的应用前景。

由于钛的活泼性和加热敏感性,因此焊接是钛设备制造的关键工艺,特别是大型衬钛设备的制造,焊接工作量很大,如何确保质量是生产钛设备的主要问题。

1 工业纯钛的焊接特点

(1)钛具有很高的活泼性^[1]。在高温下与氧、氮、碳、氢等亲和力较强。在300℃以上开始析氢,在600℃

以上大量吸收氧和氮氢溶于钛中,不仅导致气孔,而且冷却时析出的钛氢化合物会明显降低韧性,在组织应力作用下还会产生裂缝。氧和氮与钛生成的化合物会使焊接接头的硬度提高,塑性严重下降。高温下碳与钛生成碳化钛也能使焊缝塑性下降,产生裂缝,因此焊接工业纯钛时除材料本身严格控制这些杂质外,在焊前还必须做严格细致的准备工作,清除焊接部位的可污染物,并且在焊接过程中采取有效措施来可靠保护焊接熔池和高于400℃以上的焊接区域,使之免受空气污染。

(2)钛的熔化温度高,导热系数小,热容量大,因此焊接时高温区较宽,高温停留时间长,冷却速度慢,致使焊接接头易产生过热组织,晶粒粗大,降低塑性。根据这个特点,要求焊接区快速冷却为宜。当焊缝冷却太快时,高温 β 相又易转变成不稳定的组织 α' 相,也使塑性下降变脆。因此,为了使焊接接头具有良好的机械性能,必须选择合适的焊接规范,以使过热倾向和淬硬倾向都相对较小。

收稿日期:2007-05-16

作者简介:李芳红(1971—),女,甘肃秦安人,讲师,主要从事焊接工艺及设备的教研工作。

2 焊接装备

根据钛的焊接特点和衬钛设备结构特点,选用惰性气体保护焊方法。由于氩弧焊方法具有设备简单、操作灵活等特点,只要采取有效的保护措施,焊接质量就能得到保证。本试验采用了手工钨极氩弧焊接方法。

钛板焊接对焊接设备,特别是焊枪、保护罩、夹具都有严格的要求。

2.1 焊接设备

根据焊接需要,设备选用 YC-500 交直流氩弧焊机,外加两只电磁气阀和两只流量计来控制拖罩和背面的保护气体。

2.2 焊枪

工业纯钛的焊接,关键在于如何避免焊接接头遭受污染,而焊枪的结构和尺寸对保护焊接熔池有决定性影响。为了获得可靠的保护,焊接工业纯钛所用焊枪要比焊接不锈钢、铝等所用焊枪要求高,保护气流要稳定,保护更加充分。获得层流是保证电弧稳定,焊接熔池免于氧化的首要条件。试验采用的焊枪结构如图 1 所示。它除了有上部径向进气、较长的缓冲室和较大的光滑圆锥状喷嘴外,还在喷嘴上部装了两层铜丝网,使气流更加稳定。这种结构的焊枪,熔池周围的保护区很宽,焊接焊缝为银白色。

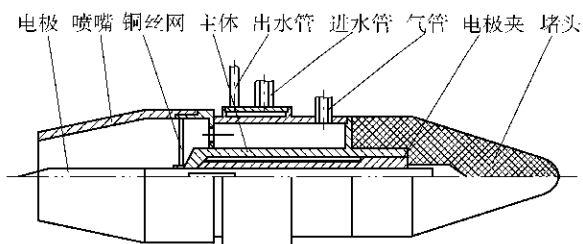


图 1 焊枪示意

2.3 保护拖罩

由于钛在较高的温度下极易吸收气体,因此要求温度 400℃ 以上的焊接区域都需加以保护,即在焊枪上加拖尾保护装置。保护罩的形状视接头形式而定。直缝焊接时采用的保护拖罩形状如图 2 所示,拖罩尺寸为 50 mm×180 mm×30 mm,下面有帽沿,氩气由引入管到分布管。分布管上占有一排 φ 1.0 mm 小孔,间距 5~7 mm,氩气向上喷出。为了使气流稳定,分分布均匀,盒内装有两层铜丝网。

2.4 焊接夹具和背面保护

钛的弹性模量小,焊接时容易变形,合适的夹

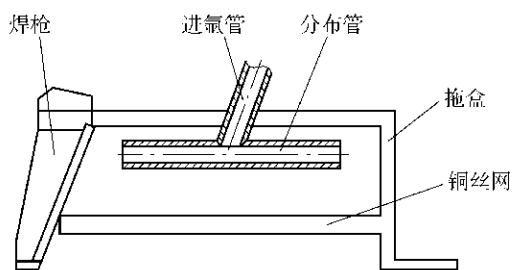


图 2 保护拖罩

具具有控制变形、加速冷却和控制保护气流等作用。试验表明,焊接厚 5~6 mm 钛板时,有循环冷却水冷却的夹具比不通循环水的夹具在焊接区高温停留时间短,特别是多层焊时焊接区保护效果更好。试验所用夹具如图 3 所示。背面通气管道出气孔直径 φ 1.0 mm,间隔 15 mm,凹槽深度和宽度要适当,过浅过窄的槽均不利于气体流通和贮存。

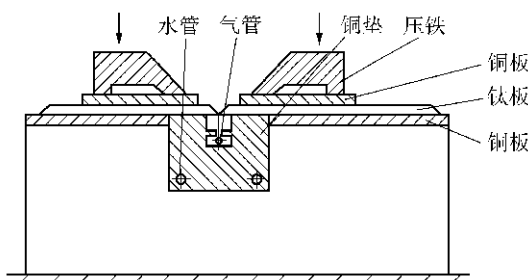


图 3 夹具示意

3 焊前准备

3.1 试验材料

对厚度 6 mm 的 TA2 板进行焊接工艺试验,其化学成分和机械性能如表 1 和表 2 所示;填充金属用 φ 2.5 mm×2 mm 的钛丝,其化学成分见表 3;焊接用保护气体分析见表 4。焊接用电极为钨钨极。

表 1 厚 6 mm 的 TA2 板化学成分 %

w(Fe)	w(Si)	w(C)	w(N)	w(H)	w(O)
0.011 0	0.023 0	0.062 0	0.020 0	0.003 6	0.130 0

表 2 厚 6 mm 的 TA2 板机械性能

σ_b /MPa	δ_5 %	冷弯($d=3a, \alpha=180^\circ$)
560	26.0	合格

表 3 φ 2.5 mm×2 mm 钛丝化学成分 %

w(Fe)	w(Si)	w(C)	w(N)	w(H)	w(O)
0.078	0.030	0.013	0.010	0.003	0.100

表 4 保护气体分析

材料	纯度/%	N ₂	O ₂	H ₂	H ₂ O/10 ⁻⁶	露点
氩气	>99.99	<100×10 ⁻⁶	<15×10 ⁻⁶	<5×10 ⁻⁶	<30×10 ⁻⁶	-50℃

3.2 试板坡口型式

由于焊接层数的增多,焊缝的累积吸气量就会增加^[2],对接头塑性影响较大。因此,坡口尺寸的制定原则是尽量减少焊接层数和焊缝金属填充量。具体坡口型式如图 4 所示。

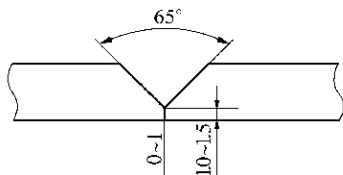


图 4 试板坡口型式

3.3 焊件和焊丝的清洗

钛板表面的氧化物及其他脏物在高温下会严重污染焊接接头,并使焊缝产生气孔,因此在焊接前必须严格清洗。化学清洗液为:350 ml 盐酸+60 ml 硝酸+50 g 氟化钠,其余为水。酸洗前,首先用丙酮擦去油污等,然后放入酸洗液中约 2~3 min,并用白布擦拭。从酸洗液中取出后,用清水冲洗晾干。组对好的坡口若不及时焊接,应用塑料布覆盖,以防灰尘落入。焊接材料采用同样方法进行清洗,并放在烘箱内,保持 150 ℃~200 ℃随取随用。

3.4 铁离子污染检验

如果钛被铁污染,当接触介质时,铁和钛会组成腐蚀电池,并在腐蚀处引起氢脆破裂,因此化工防腐设备使用钛材对铁含量有严格规定,同时铁溶于焊缝,还会形成铁钛脆性化合物。因此焊接试板在清洗后进行了铁离子检验。所用铁锈指示剂为:3 g 铁氰化钾,36%~38%盐酸 10 ml,蒸馏水 85 ml。用该指示剂在坡口及其附近检查,没有发现铁污染。

4 焊接工艺试验

认真选择焊接工艺规范参数,是保证钛板焊接质量的前提。影响因素主要是保护条件和焊接规范。

4.1 焊接保护效果的试验

4.1.1 喷嘴流量选择

手工钨极氩弧焊嘴直径 16 mm,由于喷嘴的气流直接保护焊接熔池,因此它的保护效果是影响焊缝质量的重要因素。在焊枪结构固定以后,涉及保护效果的主要有喷嘴距工件距离和喷嘴流量。由于喷嘴距工件的距离增大会使空气侵入熔池的可能性增加,因此在不影响焊接可见度和方便填充焊丝的情况下,距离应尽量小,一般为 8~10 mm。在给定的条件下用测定阴极雾化区的大小试验了氩气流量对保护效果的影响。当喷嘴流量为 700~900 ml/h 保护区最大,当流量超过 1 200 ml/h 保护效果反而变差。

4.1.2 喷嘴、拖罩以及背面保护气流的匹配

试验发现,当拖罩的流量不足时,焊接接头出现不同的氧化颜色,如果流量太大,会影响对熔池的保护,焊缝表面会出现不同色彩的相干条纹。当正面焊第一道时,背面氩气如果很大,也会对正面的保护有影响。因此,喷嘴和拖罩的流量要匹配良好,背面气流不能太大。拖罩气流 1 500 ml/h,背面气流 700 ml/h,此种保护条件下所焊焊缝为银白色。

4.2 焊接规范参数选择

手工钨极氩弧焊焊接钛板,焊接规范参数主要考虑焊接电流和焊接速度。由于焊接时既要顾及拖罩的保护效果,还要填充焊丝,因此焊速不能太快。焊接电流是主要的选择参数。当焊接速度在 6 m/h 左右时,分别用 150 A、180 A、210 A、250 A 电流在 6 mm 的板上熔焊,发现电流在小范围内变化对熔深影响不显著,而对熔宽有较大影响。电流太小,熔深浅,焊工易疲劳;电流太大,高温停留时间长,焊缝晶粒粗大,热影响区保护变差。

试验用试板尺寸为 400 mm×240 mm×6 mm,在如图 4 所示坡口内进行施焊,正面用 $\varnothing 2.5$ mm 焊丝作填料,反面不加焊丝熔焊一道,焊接电极 $\varnothing 4.0$ mm,喷嘴流量 800 ml/h,拖盒流量 1 700 ml/h,背面保护 600 ml/h。在上述条件下,焊接电流对焊接接头性能的影响见表 5。

表 5 焊接电流对焊接接头性能的影响

试样 编号	电流 /A			电流 U/V	接头颜色	冷弯角($d=3a$)°	硬度 HV10		
	第一层	第二层	背面				母材	焊缝	热影响区
1#	130	140	140	14~16	银白色 局部黄色	180 180	—	—	—
2#	160	160	160	14~16	银白色	180 180	230	223	227
3#	190	190	190	14~16	银白色 局部黄色	180 120	232	242	233

由表 5 可知,大电流焊时,表面有个别地方颜

色呈黄色,焊缝及热影响区硬度较高。小电流焊后焊

缝内有气孔,表面成形不规则,电流选用 160~180 A 较合适。

4.3 焊缝颜色对接头性能影响

钛焊接时如果保护不好,焊缝表面会出现浅黄色、蓝色、深蓝色和灰色等色彩,焊缝颜色能直观反映焊缝的性能。对表面不同颜色的焊缝做冷弯试验,其结果如表 6 所示。试验过程中发现,将表面为蓝色的焊缝再重熔一次,焊缝还可变为银白色,冷弯角相应有所提高。特别是当正面焊缝表面有氧化颜色时,再焊反面焊缝后,在背面氩气保护下,先焊的焊缝也可变为银白色或颜色减轻。这是由于表面吸气层在焊接高温下向内部扩散,改变了表面颜色。在试验过程中还发现,如果焊接熔池保护不好,焊缝内部会形成大量氢、氮、氧化合物,即使再熔焊,焊缝塑性仍很差^[3]。因此焊接钛时,喷嘴气体对熔池的可靠保护尤为重要。

表 6 焊缝颜色与冷弯角关系

焊缝表面颜色	冷弯角($d=3a$)°	备注
银白色	180	—
浅黄色	180	—
深黄色	165	热影响区蓝色
蓝色	130	—
灰色	40	表面有裂缝
在蓝色表面再熔一次,呈浅黄色	160	—

4.4 钛衬里接头焊接试验

该焊缝不能进行透视检查,要保证焊接质量,其坡口角度和装配间隙很重要。间隙和角度太小,不利于施焊,不容易焊透;间隙和角度太大,填充金属多,焊接层数增加,焊缝累积吸氧量增加,对塑性影响较大。通过试验选取了如图 5 所示尺寸,焊接两道,第一道电流 160 A,焊速 6 m/h,第二道电流 180 A,焊速 6 m/h。焊后表面着色检查没有发现任何缺陷,经解剖,焊透性较好。试样做冷弯试验 120°微裂。试板在焊接过程中发现层间温度不能高,否则热影响区氧化严重,一般应冷至 60 °C 以下再焊第二道。

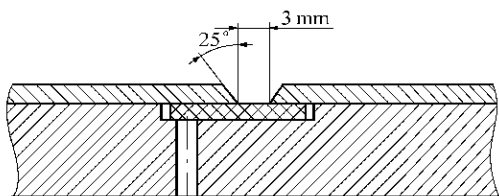


图 5 坡口型式及尺寸

5 焊接质量检验

5.1 焊缝化学成分和接头性能

焊缝化学成分如表 7 所示,6 mm 钛板焊后机械性能如表 8 所示。

表 7 焊缝化学成分 %

项目	w(Fe)	w(Si)	w(C)	w(H ₂)	w(N ₂)	w(O)
设计要求	≤0.100	0.050	0.100	0.015	0.050	0.150
实际分析	0.080	0.015	0.062	0.006	0.020	0.120

表 8 6 mm 钛板焊后接头机械性能

焊接方法	拉力试验		冷弯角($d=3a$)		HV10		
	σ_t /MPa	断口位置	正弯	反弯	焊缝	热影响区	母材
手工钨极	615	焊缝	110°	100°	238	232	236
氩弧焊	615		180°	120°	230	226	232
要求	600	—	≥90°	—	—	—	—

焊缝组织为 α 相,有少量 α' 相,没有发现 γ 相,晶粒有显著长大如图 6 所示。焊接接头经 X 光探伤 I 级,表面着色检查未发现缺陷。

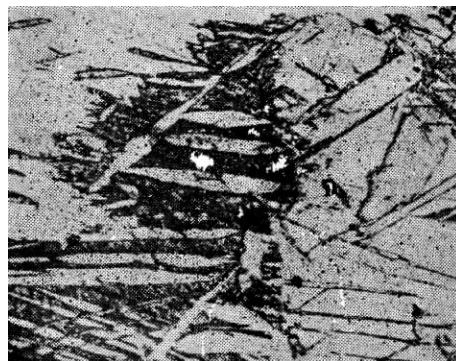


图 6 金相组织

5.2 焊接接头的耐腐蚀检验

按 GB/T4334.4-2000 要求制备试样,对焊接接头做 65%硝酸腐蚀试验,并与母材作了对比试验,其结果见表 9。由表 9 可知,焊接接头的耐蚀性不低于母材,证明制定的焊接工艺合理可行。

表 9 65%硝酸法实验结果

试样状态	腐蚀速率/ $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$		
	第一周期	第二周期	第三周期
焊缝	0.034 1	0.034 8	0.049 4
	0.038 4	0.049 3	0.040 2
母材	0.057 5	0.052 0	0.045 0
	0.065 2	0.061 5	0.039 8

6 焊接纯钛时的问题

6.1 气孔问题

一般认为钛焊缝中的气孔主要由氢气引起^[4],其

来源是多方面的。在开始焊接钛板时,没有填充焊丝焊接,焊道中出现较多的气孔。填充焊丝后进行焊接,消除气孔。当焊接时不填充焊丝熔化焊时,由于母料熔化量较多,焊接时易产生气孔;采用小电流焊接同样出现了气孔,增加电流时消除了气孔。因此焊接钛板一方面要严格清除油污脏物,另一方面要控制焊材和母材的含氢量,以及适当调节焊接规范。

6.2 焊缝的 α' 组织和晶粒粗大问题

金相检查焊缝有少量 α' 组织, α' 的介稳定组织是在冷速较快的情况下产生的。而焊缝的晶粒较为粗大,这是在高温下停留时间过长而引起的。上述结果似乎与焊接热输入量相矛盾。这种情况的出现与钛的物理性能有关。工业纯钛由 α 相向 β 相转变,其转变温度(885℃)到其熔化温度(1668℃),温度范围比较大, β 相在高温停留时间相对变长,因此晶粒容易长大。但到相变点以后的冷速还是比较大,所以产生了少量的 α' 组织。因此要消除 α' 相,降低相变点的冷速是非常必要的。

6.3 焊缝性能与气体含量的关系

试验过程中看到,焊缝表面的颜色较深时,冷弯角就降低,硬度也升高。但当再熔化一次后,表面颜色变浅,甚至成为银白色,冷弯角相应有所提高。这是由于表层被严重污染后,富集了气体,富集区的塑性很低,因此冷弯时容易从该处开裂。而当再次加热时,表面富集的气体就会向内部扩散,从而降低了脆性区气体含量,性能改善,但是内部的硬度有所提高。对于可以允许加工的厚零件焊接时,表面的污染可以在随后的加工过程中去除掉,不影响质量。

参考文献:

- [1] 压力容器制造与修理[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 李亚江,王娟,刘强.有色金属焊接及应用[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册第二册—材料的焊接(2版)[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [4] 张文钺.焊接冶金学[M].北京:机械工业出版社,1992.

什么是钢的热处理? 钢的热处理方式有哪些?

钢在固定下采用适当方式进行加热、保温、并以一定的冷却速度冷却到室温,改变钢的组织从而改变其性能的一种工艺方法,称为钢的热处理。

钢的热处理方式有以下几种:

(1)淬火。将钢加热到临界点 AC_3 或 AC_1 以上某一温度,保温一定时间,使钢的组织全部转变为奥氏体,然后以适当速度冷却(在水、油中冷却)获得马氏体或下贝氏体组织的热处理工艺称为淬火。淬火的目的是大大提高钢材的硬度。理论上,任何材料都可以进行淬火处理,但实际上,如低碳钢为了进行淬火,其冷却速度需达到2000℃/s,目前生产中尚无这样的制冷剂可以达到如此高的冷却速度,所以通常认为低碳钢不能进行淬火处理。

(2)退火。将钢加热到适当温度,保持一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺称为退火。退火的目的是细化晶粒,使组织均匀化,降低硬度,提高塑性和消除内应力。

(3)正火。将钢加热到临界点 AC_3 或 AC_{cm} 以上30~50℃,保温一定时间后,在静止的空气中冷却的热处理工艺称为正火。正火能细化晶粒,提高钢的冲击韧度和综合力学性能。

(4)回火。将淬火钢重新加热到临界点 AC_1 以下的某一温度,保温一定时间,然后在空气或油中冷却到室温的热处理工艺,称为回火。回火的目的是稳定组织、稳定零件在使用中的性能和尺寸;消除内应力;提高塑性和韧性。

根据加热温度的不同,回火可分为高温回火(400℃以上)、中温回火(250~400℃)和低温回火(150~250℃)。对于重要的焊接结构经常采用高温回火来消除结构中的残余焊接应力。

钢经淬火加高温回火的热处理工艺称为调质处理,调质处理后可得到强度、塑性、韧性都较好的综合力学性能。