



中国船舶工业总公司部标准

CB/T 1216—92

TA5 钛合金焊接技术条件

1992-07-04 发布

1993-03-01 实施

中国船舶工业总公司 发布

TA5 钛合金焊接技术条件

1 主题内容和适用范围

本标准规定了 TA5 钛合金的焊接用材料、焊接工艺规程、焊接性能检验等。

本标准适用于 TA5 钛合金的焊接,对工业纯钛及其他 α 型、近 α 型钛合金的焊接亦可参照使用。

2 引用标准

- GB 150 钢制压力容器
- GB 151 钢制管壳式换热器
- GB 324 焊缝符号表示法
- GB 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊坡口基本型式与尺寸
- GB 2649 焊接接头机械性能试验取样方法
- GB 2650 焊接接头冲击试验方法
- GB 2651 焊接接头拉伸试验方法
- GB 2653 焊接接头弯曲及压扁试验方法
- GB 2965 钛及钛合金棒材
- GB 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB 3620 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB 3621 钛及钛合金板材
- GB 3623 钛及钛合金丝
- GB 3624 钛及钛合金无缝管
- GB 3625 热交换器及冷凝器用无缝钛管
- GB 4191 惰性气体保护电弧焊和等离子焊接、切割用钨钼电极
- GB 4842 氩气
- GBn 194 钛及钛合金饼材
- GBn 195 钛及钛合金锻件
- GJB 64.1 水面舰艇规范
- GJB 64.2 潜艇规范
- GJB 943 潜艇用 TA5-A 钛合金锻件
- GJB 944 潜艇用 TA5-A 钛合金板材
- JB 1152 锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤
- JB 3964 压力容器焊接工艺评定

3 术语

3.1 α 钛合金 α titanium alloy

含有 α 稳定剂,在室温稳定状态基本为 α 相的钛合金。

3.2 近 α 钛合金 near α titanium alloy

α 合金中加入少量 β 稳定剂,在室温稳定状态 β 相含量一般小于 10% 的钛合金。

3.3 间隙元素 interstitial element

原子半径比较小,溶于钛后位于钛晶格的空隙中的元素。通常指氧、氮、氢和碳。

4 材料

4.1 母材应符合 GB 2965、GB 3620、GB 3621、GBn 194、GBn 195、GJB 943、GJB 944 的要求。或符合设备设计技术条件中所提出的要求。

4.2 填充金属:焊接 TA5 钛合金应选用 TA4 焊丝,其焊丝的化学成分应符合表 1 的规定。并应真空退火状态供货。焊丝的其他要求应符合 GB 3623 的规定。

表 1 TA4 焊丝化学成分

牌号	化 学 成 分,%							
	Ti	Al	C	O	H	N	Fe	Si
TA4	基	2.0~3.3	≤0.10	≤0.10	≤0.010	≤0.04	≤0.15	≤0.04

4.3 保护气体:推荐采用一级纯氩,并应符合 GB 4842 的要求。

4.4 钨极:推荐采用钨钼电极,并应符合 GB 4191 的要求。

5 焊接方法及设备

5.1 焊接方法

推荐采用直流钨极氩弧焊,也可采用熔化极惰性气体保护焊和等离子弧焊。

5.2 焊接设备

对于直流钨极氩弧焊和等离子弧焊应采用具有陡降外特性的直流电源,对于熔化极惰性气体保护焊应采用平特性的电源。电源的电流波动要小,在低电流范围内,焊机应具有良好的控制调节性能,且具有电流衰减系统。

5.3 焊炬

应采用焊钛的专用焊炬,喷嘴直径可根据焊缝尺寸在 14~19 mm 范围内选用。当采用拖罩时,所用拖罩可根据焊件形状及生产条件自行制作。

6 焊接夹具

6.1 应采用铜制夹具(自然冷却或水冷的),也可采用其他无磁材料作为焊接接头的定位夹具或用来冷却焊道的邻近区域的夹具。

6.2 对于厚度不超过 3 mm 的 TA5 焊件,夹具距熔化焊缝的边缘应大于 3 mm,对于 3 mm 以上的 TA5 焊件,夹具距熔化焊缝的边缘应大于 6 mm,也可以采用其他金属材料作为焊接接头的定位夹具。

7 焊前准备

7.1 材料性能复验

焊前应按材料标准或订货要求对所用 TA5 母材以及配套用的 TA4 焊丝进行化学成分及力学性能复验,合格后方能使用。

7.2 接头设计

TA5 钛合金的焊接接头设计可参照 GB 985 的规定,根据板厚进行设计。其接头的符号和定义应符合 GB 324 的规定。

7.3 坡口的制备

7.3.1 坡口的制备应符合图样的要求。

7.3.2 坡口应采用机械或磨削方法加工,不得使金属过热。磨制坡口时,推荐使用硬质合金磨轮。也可使用清洁的磨削砂轮,但不能使用打磨过钢的砂轮、硬度低的砂轮或胶粘砂轮。

7.3.3 当砂轮磨制坡口时应采用锉刀、金钢砂布或不锈钢丝刷去除坡口表面附着的砂轮粒子。

7.4 工具及着装

7.4.1 所用的焊接夹具、工具都应用丙酮或酒精清除灰尘、油脂、油、记号笔标记。所用工具只能用于钛,不能与钢结构焊接所用工具混用。

7.4.2 焊工和装配钳工应戴洁净的白手套,穿清洁的工作服。

7.5 酸洗及清理

为了清除氧化皮、污物,应对所使用的母材、填充材料进行认真、严格的清理。

7.5.1 脱脂

用稀氢氧化钠溶液或用工业酒精除去表面残存的油脂或污物。

7.5.2 酸洗去氧化皮

7.5.2.1 对于 600℃ 以下温度形成的轻微氧化皮,可采用下列配方的溶液、温度和时间进行酸洗:

- a. 氢氟酸(HF):2%~4%;
- b. 硝酸(HNO₃):30%~40%;
- c. 水(H₂O):余量;
- d. 温度:室温至 60℃;
- e. 时间:2~20 min(时间取决于氧化皮的厚度)。

酸洗后应立即用清水冲洗干净。

7.5.2.2 对于在 600℃ 以上温度形成的较厚氧化皮,可用机械方法(如喷砂、打磨)去除,处理后再按 7.5.2.1 条进行酸洗处理。

7.6 焊前坡口清理

焊前坡口及坡口边缘至少 25 mm 的母材应用不锈钢钢丝刷刷净,并用干净白绸布(不得使用棉布、棉纱)加丙酮擦净,除去所有水锈、漆皮、污垢、金属粉屑、尘埃和其他可能与钛反应的杂物。焊接边缘应平整,不允许有裂纹、毛刺、压坑、划伤等缺陷,清理后应尽快施焊,否则需重新清理。

7.7 焊接环境

7.7.1 焊接钛合金应在独立的、清洁的加工车间中进行。

7.7.2 若在钢铁作业的车间内进行施焊,应与钢铁作业区隔开。

7.7.3 焊接场所不允许有过堂风。

7.7.4 焊接场所严禁吸烟。

7.7.5 工作环境温度应不低于 5℃。

8 焊接

8.1 装配和定位焊

8.1.1 装配时必须保持所用夹具及焊接坡口的清洁。定位焊时,应在与正式焊缝相同的条件下进行焊接。如果定位焊缝有裂纹,应去除该定位焊缝,并在焊接之前重新易位定位焊。

8.1.2 被焊接头两母材金属的装配错边量不得超过 2 mm 或接头最薄部分公称厚度的 10%,取两者较小者。

8.2 焊缝的气体保护

必须对焊缝正反两面进行可靠的气体保护,保护气体应符合 4.3 的要求,焊缝正面保护应采用适用于钛合金焊接的焊炬进行焊接保护或附加拖尾保护。焊缝反面保护可根据焊件形状尺寸,采用夹具垫板槽内通保护气、背面保护气罩或焊件内腔充氩保护等方法。

8.2.1 保护气体系统

气体导管、阀、减压器、流量计、软管、管道、焊炬和其他有关设备必须清洁,无泄漏和干燥。应采用尼龙塑料管,不推荐使用橡胶管。系统应维持焊炬上气体的露点不高于 -50°C 。每一次开焊前必须预先通气,排除焊接保护气体系统残存的空气。

8.2.2 焊接前应采用不锈钢试板或钛试板对气保护系统进行检验,如果获得不变色的银白色外观,则认为保护合格。所确定的气体保护流量是正确的。

8.2.3 焊接引弧前应提前送气,焊接熄弧后应滞后断气,滞后断气时间以确保熄弧处的焊缝冷却后为银白色来确定。

8.3 引弧和熄弧

推荐采用脉冲引弧和高频引弧,当采用短路引弧时,宜采用引弧板和引出板。

8.4 焊接工艺参数

8.4.1 焊接工艺参数选取的基本原则

使焊缝顺利成形的线能量和对焊缝的可靠气体保护两者的相互正确匹配是选取焊接工艺参数的基本原则。对板厚 3 mm 以下的焊件应采用慢焊接速度和小焊接电流,对于 3 mm 以上的焊件应采用快焊接速度和大焊接电流。但所选的焊接线能量都必须同时满足 8.2.2 的要求。

8.4.2 钨极

8.4.2.1 推荐采用钨钼电极,并应符合 GB 4191 的规定,不同焊接电流所选择的钨钼电极直径见表 2。

表 2 钨钼电极选用表

焊接电流 A	钨极直径 mm
15~80	1.0
70~150	1.6
150~250	2.4
250~350	3.2
340~400	4.0

8.4.2.2 钨极尖端应磨成 $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的角度,钨极伸出喷嘴长度一般为 5~7 mm。对于较深的 V 型坡口和拐角处的焊接,外伸长度可增加至 25~30 mm,但应限制外伸长度到尽可能最短的距离,以保证良好的保护。如果钨极焊接过程中尖端形状变化时,应及时磨制钨极至规定的形状。

8.4.3 弧长

电弧长度应尽可能的短,一般选用弧长 1~3 mm 左右为适宜。

8.4.4 焊接层间温度

TA5 钛合金焊接时不需要预热,多层焊时的层间温度应控制在 100°C 以下,焊道温度可采用点式测温计测量。

8.5 焊接过程中的清理

8.5.1 多层焊时,每层焊缝金属表面都应按要求进行检查和清理,以保证焊道表面无可能引起焊缝完整性的缺陷存在、对于淡黄和浅蓝色的氧化皮,应使用不锈钢钢丝刷清除,同时用洁净白绸布加丙酮(或酒精)除去残余杂物。

8.5.2 对于多层焊过程中产生的夹钨或超标氧化、裂纹等缺陷处,应首先清除这些缺陷。清理时应使用电动硬质合金刀或电动碳化钨打磨刀清理。确认清理干净后,再按 8.5.1 的要求进一步清理。如果采用角向磨光机或砂轮机清理这些缺陷时,则必须用硬质金属刮刀除去打磨部位残存的砂粒,然后再按 8.5.1 要求进一步清理。

8.5.3 不允许采用已污染的焊缝重新焊接改善焊缝外观的办法清除氧化色。

8.5.4 焊接填充材料熔化的端头应始终处于氩气可靠保护之下。如发现端头污染变色,再焊接时,应剪去该污染变色段。并清除用污染端头焊接的焊缝金属。

8.6 焊缝尺寸

焊缝应符合设计图纸规定的尺寸要求,如果图纸未做规定,应符合下列要求。

8.6.1 焊缝余高

焊缝正、反面最大余高应符合图 1 和表 3 的要求。

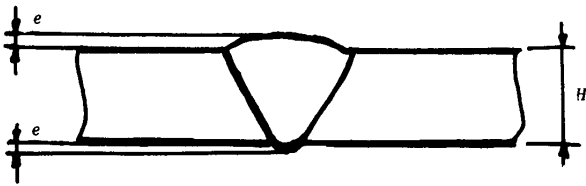


图 1 焊缝余高尺寸

表 3 焊缝余高尺寸

mm

母材金属厚度(最薄部分) H	焊缝余高 e
≤ 2.0	0~1.0
$> 2.0 \sim 5.0$	0~2.0
$> 5.0 \sim 12.5$	0~2.5
> 12.5	0~3.0

8.6.2 焊缝宽度

允许的最大焊缝宽度应等于坡口的开口宽度加 3.0 mm。

8.6.3 角焊缝的要求

角焊缝应符合设计图样或 GB 150、GB 151、GB 985、GJB 64.1、GJB 64.2 等相应标准的要求,且应圆滑过渡。

9 焊接工艺评定

焊接工艺评定依据本技术条件有关规定,并结合 JB 3964 的要求自行制定。然后在满足焊接接头性能的焊接工艺评定报告的基础上,结合设计要求和焊接实践经验制订出焊接工艺规程作为焊接生产的依据。

10 焊后热处理

- 10.1 有设计要求时,可进行焊后热处理。焊后热处理可在真空炉中进行,也可在电炉或煤气炉中进行。
- 10.2 若在煤气炉中退火,应控制炉中气氛为中性或微氧化性。且不得使加热火焰直接与钛表面接触。
- 10.3 当设计要求时,应清除退火时所形成的氧化皮。
- 10.4 退火按图 2 进行。

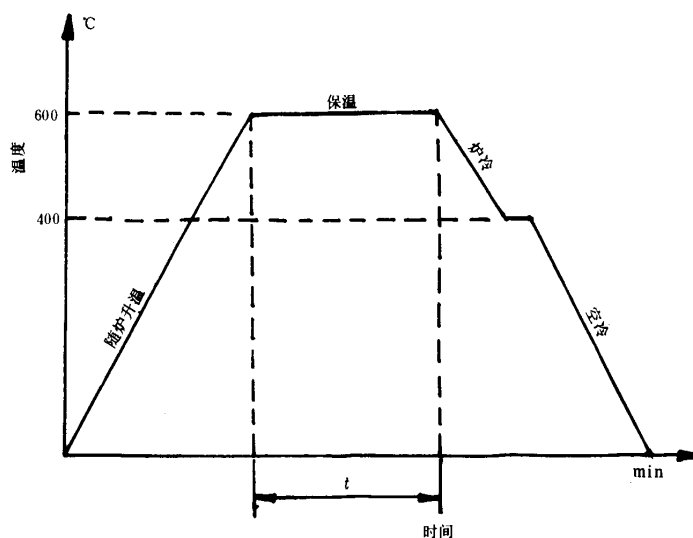


图 2 焊后热处理制度

10.5 保温时间 t 的选取应以焊接结构中最大厚度的焊缝为依据,并参照表 4 选取。

表 4 保温时间选取表

焊缝的最大截面厚度 mm	保温时间 t min
≤ 1.5	10
$> 1.5 \sim 2.0$	15
$> 2.0 \sim 5.5$	25
$> 5.5 \sim 25.0$	60
> 25.0	$60 + \Delta t$

注: Δt 的选取原则为焊件厚度每增加 1 mm 时,保温时间 Δt 增加 3 min。

11 焊缝质量检验

11.1 检验人员

检验人员应经一定的技术培训,能正确掌握钛合金焊接特点及质量评级标准,并取得有关部门的认可资格。

11.2 工序检验

焊接施工过程中的每一道工序完成后,需经检查合格,方可转入下道工序施工。

11.3 焊缝外观检查

11.3.1 焊缝的外形尺寸应符合设计图样的要求。

11.3.2 焊缝及热影响区表面不得有裂纹、未焊透、未熔合、弧坑、气孔、夹渣及超标的咬边等缺陷。

11.3.3 重要焊缝,即 GB 150 标准中 10.1.5 条 A、B 类焊缝的焊缝表面不得有咬边。

11.3.4 非重要焊缝,即 GB 150 中 10.1.5C、D 类焊缝的焊缝表面其咬边深度不得超过母材厚度的 5%,且不得大于 0.3 mm,咬边总长度不应超过焊缝总长度的 10%,且连续长度不大于 50 mm。

11.4 焊缝颜色检查

焊缝的外观颜色可以表明焊缝已经产生污染的程度,并以此作为焊接过程中焊缝质量现场检验及

返修的依据,焊缝颜色与校正措施见表 5。

表 5 焊缝颜色与校正措施

焊缝表面颜色	焊缝质量	保护效果	校正措施
银白色	优质	好	
金黄色	合格	较好	
淡蓝色	合格	一般	下道焊缝焊接前,用不锈钢钢丝刷去除
蓝色或紫色	不合格	差	完全去除该焊道及邻近金属,在重新焊接前,改善保护条件
灰色或黄色粉末	不合格	最差	完全去除该焊道和热影响区,检查保护系统的泄漏、供气等,重新焊接前,进行焊缝试验

11.5 射线探伤检验

射线探伤按 GB 3323 或按设计技术要求进行,其拍片百分比及合格标准,应符合设计图样和技术条件的规定。

11.6 超声波探伤检验

对于不能进行射线探伤部位的焊缝,如设计要求,则可进行超声波检验,探伤方法按 JB 1152 进行,探伤百分比及合格标准应符合设计图样和技术条件规定。

11.7 液体渗透检查

如设计要求时,应进行液体渗透检查,检验方法按 GB 150 附录 H 进行。检验范围和合格标准,应符合设计图样和技术条件的规定。

11.8 焊接试板的要求

11.8.1 焊接试板的焊接必须与焊件所用焊前准备、焊接材料、焊接工艺及焊接条件一致,且与焊件同时施焊。焊接试板应由经考试合格的焊工承担。

11.8.2 有焊后热处理要求的焊件,焊接试板应与焊件一起进行随炉热处理,且热处理次数和程序应与焊件相同。

11.8.3 焊接试板的尺寸应符合 GB 2649 的规定。

11.8.4 焊接试板的焊缝需 100% 射线探伤,评定标准与所代表的焊件相同。检验合格后,方能进行取样检验。

11.9 焊接接头力学性能检验

11.9.1 试样的制备

试样截取位置应根据焊缝外观检验及无损探伤结果,在试板有效利用范围内作适当分布,并应符合 GB 2649 的规定。

11.9.2 拉伸试验

按 GB 2651 规定取两个试样进行检验,两个试样的拉伸强度均不得低于母材标准规定值的 90%。如果一个试样不合格,应再取两个试样复验。如全部合格,则为合格。如仍有一个不合格,则为不合格。

11.9.3 弯曲试验

按 GB 2653 的规定取两个横向正弯试样,两个横向反弯试样进行弯曲试验。试验时,其试样的焊缝及热影响区应全部在试样受弯的范围内,弯轴直径 $d = 4a$ (a 为试样厚度),所有试样的弯曲角 $\alpha \geq 90^\circ$,不裂。如果一个试样不合格,应再取两个试样复验,如果全部合格,则为合格。如仍有一个不合格,则为不合格。

11.9.4 冲击试验

按 GB 2650 的规定取三个夏比冲击试样,其缺口位置应在垂直板面的焊缝金属上,试验温度根据

设计要求确定,其冲击值应不低于母材标准规定值的 90%。如有一个试样不合格,应再取三个冲击试样进行复验,如全部合格,则为合格。如仍有一个不合格,则为不合格。

11.10 焊接接头的硬度检验

有设计要求时,应进行焊接接头的硬度检验。

11.10.1 硬度检测试样

硬度试样应包含焊接接头的各个部位(焊缝金属,热影响区,母材),测试应在焊接接头的横截面上进行,厚度在 3 mm 以下的钛焊接接头,允许在试样外表面测定硬度。

11.10.2 硬度检测部位

焊接接头的各个部位测定硬度的点数不少于 3 点,其测试方法应符合相应的技术条件。

11.10.3 硬度测试结果

焊缝及热影响区的硬度不高于母材硬度的 HV30 为合格。

12 焊接缺陷的返修及焊工标记

12.1 当发现焊缝上有不允许的缺陷时,应进行返修。返修时应先彻底清除缺陷,并经检验确认缺陷全部清除后,再进行补焊。补焊应按本技术条件要求进行。

12.2 返修工艺应得到主管焊接工程师的同意。

焊缝的同一部位返修次数一般不超过两次。超过两次时,应由施工单位的技术总负责人批准,或由有关部门协商解决。返修后,应将返修的原始记录记入质量跟踪档案。

12.3 有设计要求时,对于每条焊缝的焊接日期及焊工应是可追踪和识别的,并做好记录。

13 焊工

13.1 焊工应经过专门的培训和考试,并能熟练掌握本技术条件的要求。

13.2 焊工的培训和考试应在主考机构和质量保证检查部门领导下进行。

14 安全防护

14.1 焊接设备必须安装正确、牢靠,电焊机应接地良好,电缆线绝缘良好。

14.2 焊接现场要有良好的通风设备,在窄小容器内施焊要有专人监护。

14.3 施焊人员必须按规定穿工作服,以防烧伤、烫伤及弧光灼伤。

附加说明:

本标准由全国海洋船标准化技术委员会船用材料应用工艺分技术委员会提出。

本标准由中国船舶工业总公司洛阳船舶材料研究所归口。

本标准由中国船舶工业总公司洛阳船舶材料研究所负责起草。

本标准主要起草人蒋成禹、严铿、汪汀、魏武、张法礼、武晶。