

ICS 25.160.10

CCS J 33



CWA

团 体 标 准

T/CWAN 0142—2025

船用钛-钢过渡接头推荐焊接工艺规范

Recommended welding procedure specification for titanium-steel transition joints for ship

2025-04-03 发布

2025-05-01 实施

中国焊接协会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 材料要求 1

4 焊工要求 2

5 焊前准备 2

6 焊接要求 4

7 焊接质量检验 7

8 焊接缺陷返修 8

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：洛阳船舶材料研究所（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）、河南科技大学、江汉大学、中国矿业大学、中国船舶集团有限公司第七〇一研究所、大连船舶重工集团有限公司、江南造船（集团）有限责任公司、沪东中华造船（集团）有限公司、中国机械总院集团郑州机械研究所有限公司、南昌航空大学、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、重庆科技大学、北京博清科技有限公司、中船黄埔文冲船舶有限公司、北部湾大学、南京埃斯顿电气有限公司、聚力新材料科技（日照）有限公司。

本文件主要起草人：刘金涛、陈令杰、翟伟国、李亚、韩刚、陈翔、虞跨海、罗宁、张扯、李龙、王岳、吴广明、张保奇、李军、邓光平、蒋晓博、程飞、胡家念、曾翔宇、郝健、刘强、黄健、原磊、肖健、钟素娟、武鹏博、陈玉华、邹吉鹏、冯消冰、尹立孟、冯志强、秦建、邵丹丹、曹浩、罗玖田、何志军、信国松、陈昊睿、方乃文、陈昭鑫。

船用钛-钢过渡接头推荐焊接工艺规范

1 范围

本文件规定了船用钛-钢过渡接头（以下简称钛钢接头）焊接时，对材料、焊工、焊前准备、焊接工艺、焊接质量检验及焊接缺陷返修等方面的技术要求。

本文件适用于以钛为复层，船体结构钢为基层的爆炸复合板材加工的钛钢接头作为钛结构与钢结构过渡连接时的焊接。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中、注日期的引用文件、仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件、其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3620.1	钛及钛合金牌号和化学成分
GB/T 3621	钛及钛合金板材
GB/T 3623	钛及钛合金丝
GB/T 4842	氩
GB/T 4844	纯氦、高纯氦和超纯氦
GB/T 5117	非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 5118	热强钢焊条
GB/T 6052	工业液体二氧化碳
GB/T 6396	复合钢板力学及工艺性能试验方法
GB/T 8110	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
GB 9448	焊接与切割安全
GJB 5537	舰艇用 945 钢板规范
GJB 8741	舰艇用 10CrNiCu 钢板规范
NB/T 47013.5	承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
NB/T 47014	承压设备焊接工艺评定
SJ/T 10743	惰性气体保护电弧焊和等离子焊接、切割用钨钨电极

3 材料要求

3.1 钛钢接头的材料组合、规格及质量要求应符合供需双方协议的要求。

3.2 结构用钛材、钢材应分别符合 GB/T 3620.1、GB/T 3621、GJB 8741、GJB 5537 等相关标准的要求。

3.3 钛焊接材料按设计及工艺要求选用，焊丝应符合 GB/T 3623 或其他相关标准的要求。

3.4 钢焊接材料按设计及工艺要求选用，焊条、焊丝应分别符合 GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 8110 或其他相关标准的要求。

3.5 焊接用的氩气应符合 GB/T 4842 的要求；氦气应符合 GB/T 4844 的要求；焊接用的二氧化碳应符合 GB/T 6052 的要求。

3.6 非熔化极氩弧焊时，宜采用钨钨电极，并应符合 SJ/T 10743 的要求。

3.7 用于密封钛钢接头焊缝的粘接剂，应满足高强度、高密封性和对钛钢接头无腐蚀性等要求。

4 焊工要求

4.1 焊工应经技术培训，并考试合格，经省级或市级质量技术监督局认可，取得合格证书后，持证上岗。

4.2 焊工施焊的材质、采用的焊接方法、焊接位置及焊接接头型式应与其资格证书核准的项目相符。

5 焊前准备

5.1 环境要求

5.1.1 钛钢接头焊接一般宜在室内进行，若在室外施焊时，应有防风、防雨、防曝晒等设施。

5.1.2 焊接环境相对湿度大于 90%时，应采取干燥措施。

5.1.3 当焊件温度低于 0℃时，应在连接件始焊处 80 mm 范围内进行预热，其预热温度不宜低于 15℃。

5.2 安全防护

5.2.1 焊接设备应安装正确、牢靠，电焊机应接地，电缆线绝缘应良好。

5.2.2 焊接车间应有良好的通风设备，在窄小空间内施焊时，应有专人监护。

5.2.3 施焊人员应按规定穿戴工作服。

5.2.4 其他安全防护要求按 GB 9448 及其他有关规定执行。

5.3 下料及坡口加工

钛钢接头的下料及坡口加工，应采用机械方法或不影响复合界面结合性能的其他有效方法。

5.4 接头型式

5.4.1 钛钢接头的焊接接头型式分为钛钢接头之间的对接接头、钛钢接头与船体结构件的焊接接头两类。推荐钛钢接头之间的对接优先采用注胶型式，对接间隙约 5 mm~6 mm。

5.4.2 钛钢接头之间的对接焊接推荐接头型式及尺寸见表 1。

5.4.3 钛钢接头与船体结构件的焊接接头推荐型式及尺寸见表 2，焊脚尺寸 K、K1 按设计图样规定执行。

5.4.4 其它坡口形式参照表 1、表 2 执行。

表 1 钛钢接头对接接头推荐型式及尺寸

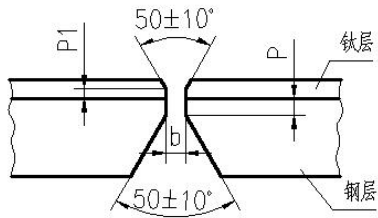
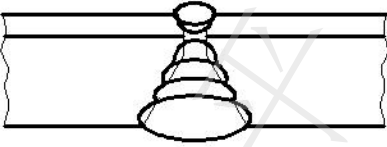
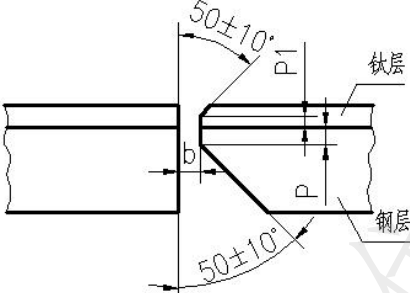
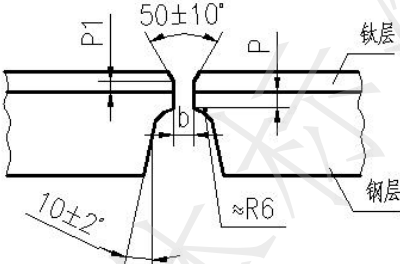
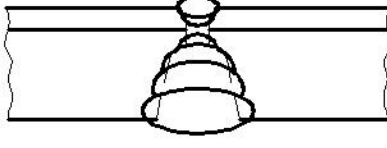
序号	坡口型式	焊缝型式	尺寸/mm	
1			P	2±1
			P1	2±1
			b	1±1
2			P	2±1
			P1	2±1
			b	1±1
3			P	2±1
			P1	2±1
			b	1±1

表 2 钛钢接头与船体结构件焊接接头推荐型式及尺寸

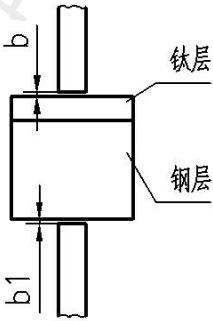
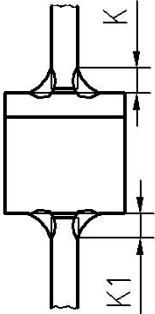
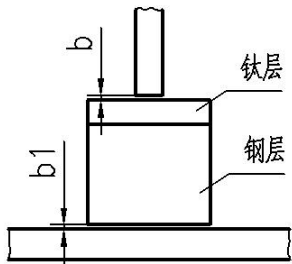
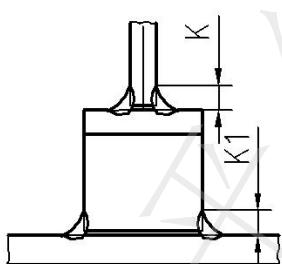
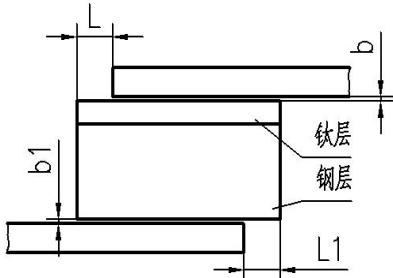
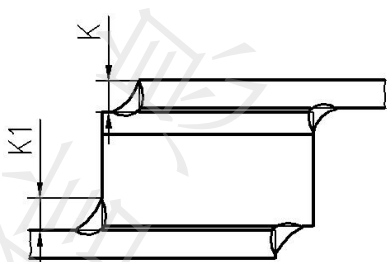
序号	坡口型式	焊缝型式	尺寸/mm	
1			b	1±1
			b1	1±1
			L	≥K+1
			L1	≥K1+1

表 2 续 钛钢接头与船体结构件焊接接头型式及尺寸

序号	坡口型式	焊缝型式	尺寸/mm	
2			b	1±1
			b1	1±1
3			b	1±1
			b1	1±1
			L	≥K+1
			L1	≥K1+1

5.5 焊前清理

5.5.1 焊件坡口及坡口边缘 40 mm 范围内应去除铁锈、水、油等污物，钛表面的氧化膜应用机械方法(如清洁的刮刀、不锈钢丝刷)或其他有效方法清除。

5.5.2 经表面钝化处理的焊丝可不作清理。焊丝若有污染应先用丙酮清除油污，然后用化学清洗去除氧化膜，冲洗干净并烘干。若表面仅有氧化膜，也可用机械方法(如清洁的刮刀、不锈钢丝刷)去除。

5.5.3 经清理后的焊件和焊丝应保持清洁、干燥，并及时使用。

5.6 装配及定位焊

5.6.1 钛钢接头应避免强行装配，装配时可采用必要的工装夹具，并注意保护钛表面。装配尺寸应准确。钛钢接头之间装配时，以钛层为基准。

5.6.2 定位焊的焊材和焊接工艺应与正式产品相同，定位焊后应再检查装配间隙、错边量及定位焊缝质量，符合工艺要求后方可施焊。钛钢接头之间定位焊点应设在两端，钛钢接头与船体结构件之间定位焊可设在结构的一侧或两侧。定位焊缝长度一般为 5 mm~10 mm，间距约 100 mm~200 mm，也可视工况而定。若发现定位焊缝有裂纹或其他缺陷时应予去除，重新移位定位焊。

6 焊接要求

6.1 一般要求

6.1.1 钛钢接头之间焊接时，应采用钛与钛、钢与钢分别焊接，复合界面不焊接的原则。

6.1.2 焊接时应采用较小线能量的焊接工艺及工艺参数。

6.1.3 多道焊时的道间温度不应超过 100 ℃。

6.1.4 焊接时应先焊钢侧、后焊钛侧。若不能按此程序进行焊接时，也可先焊钛侧，但应采取有效措施保持钛侧焊接区域的清洁及氧化。

6.2 焊接工艺评定

6.2.1 当产品要求进行焊接工艺评定时，应在产品制造前进行焊接工艺评定。

6.2.2 焊接工艺评定应按 NB/T 47014 标准相关规定进行，并取得相应的质量监督部门的认可。

6.2.3 应根据已认可的焊接工艺，结合产品结构特点及技术要求等，制定合理的焊接工艺规程。

6.3 焊接工艺试验

6.3.1 在首次使用钛钢接头时，应进行焊接工艺试验。

6.3.2 焊接工艺试验用试板尺寸及装配型式见图 1。钛焊缝宜采用非熔化极惰性气体保护焊和熔化极惰性气体保护焊，钢焊缝宜采用熔化极气体保护焊或焊条电弧焊。

单位为 mm

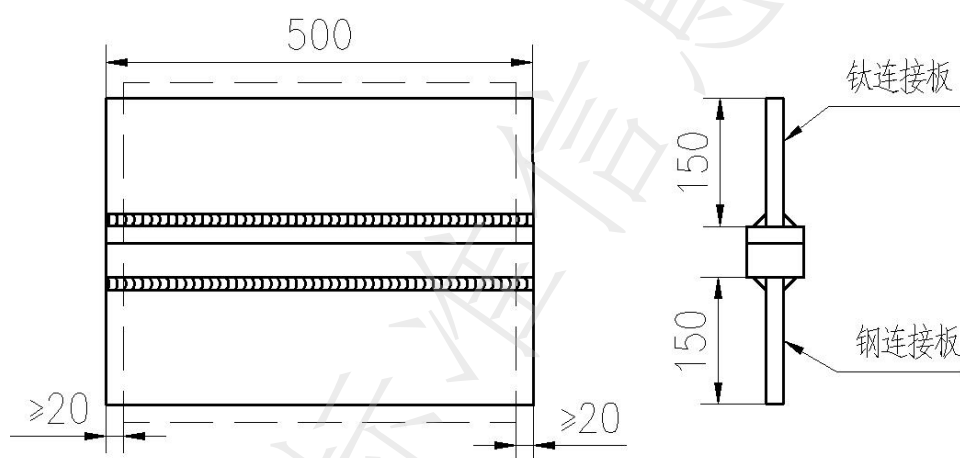


图1 试板尺寸及装配示意图

6.3.3 焊接工艺试验的步骤:

- 选择合适的工艺，在钛钢接头上分别焊上钛板、钢板，四条焊缝应均为连续焊；
- 在试板的中间位置（虚线区域内）取两个拉伸试样、两个剪切试样、两个粘结试样，其中拉伸试样加工尺寸见图 2，剪切试样和粘结试样按照 GB/T 6396 执行。

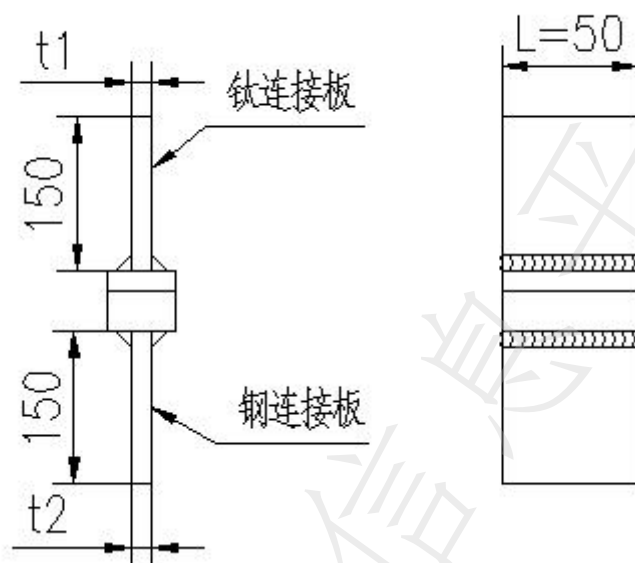


图2 拉伸试样加工示意图

6.3.4 焊接工艺试验的要求

a) 两个拉伸试样失效位置不应该为钛钢接头的界面部位，且试样拉伸力载荷 FN 应不低于两侧连接板所能承受的拉伸载荷 $FN_{\text{钛}}$ 与 $FN_{\text{钢}}$ 中的较小值。 $FN_{\text{钛}}$ 、 $FN_{\text{钢}}$ 的值按下式 (1) 计算。

$$\begin{aligned} FN_{\text{钛}} &= Rm_{\text{钛}} \times t_1 \times L \\ FN_{\text{钢}} &= Rm_{\text{钢}} \times t_2 \times L \end{aligned} \quad (1)$$

式中：

$FN_{\text{钛}}$ —拉伸试样钛连接板所能承受的拉伸载荷下限值，单位为牛 (N)；

$Rm_{\text{钛}}$ —拉伸试样钛连接板抗拉强度指标下限值，单位为兆帕 (MPa)；

$FN_{\text{钢}}$ —拉伸试样钢连接板所能承受的拉伸载荷下限值，单位为牛 (N)；

$Rm_{\text{钢}}$ —拉伸试样钢连接板抗拉强度指标下限值，单位为兆帕 (MPa)；

t_1 —钛连接板厚度，单位为毫米 (mm)；

t_2 —钢连接板厚度，单位为毫米 (mm)；

L —拉伸试样宽度，单位为毫米 (mm)。

b) 钛钢接头的剪切性能、粘结性能满足材料技术要求。

6.4 焊接工艺参数

产品的焊接工艺参数由施工单位经焊接工艺评定或焊接工艺试验确定。

6.5 焊接方法及设备

6.5.1 钢结构焊接宜采用熔化极气体保护焊或焊条电弧焊，并选用相应的焊接设备。

6.5.2 钛结构焊接宜采用非熔化极惰性气体保护焊 (TIG) 和熔化极惰性气体保护焊 (MIG) 等方法，并选用相应的焊接设备。

6.5.3 允许采用能确保焊接质量的其他焊接方法。

6.6 焊接材料

焊接材料的选择应与相匹配的船体结构件等强度。当钛钢接头材质为表 3 中的基、复层材料牌号时，推荐的焊接材料见表 3 所示，也可按照设计图样上的要求通过工艺评定确定。

表 3 钛钢焊接用推荐焊接材料

钛钢接头基/复层材料	945	L907A	B 级钢	TA1 或 TA1G
焊接材料	TH945 焊条、 945 焊丝	TH907A 焊条、 907A 焊丝	E4303 焊条、 ER-50 焊丝	TA1 焊丝

6.7 焊接程序

6.7.1 钛钢接头之间一般不建议焊接，如果焊接，需要满足以下要求：

- 钛钢接头之间焊接时，应确保钛、钢层的钝边尺寸和装配间隙；
- 焊接时应采用引弧板和熄弧板，并采取防止变形的措施；
- 钛钢接头之间焊接时，应防止熔及复合界面；
- 施焊后的焊缝，应用机械方法去除余高并对两侧进行修整；
- 有密性要求时，接头间隙处应钻直径为 5 mm~6 mm 的小孔，然后注入高效粘接剂进行密封；或采用其他有效的方法进行密封。

6.7.2 钛钢接头与结构件的焊接要求如下：

- 焊接施工时，应尽可能采用平角焊位置；
- 一般应先焊钢侧、后焊钛侧。若不能按此程序进行焊接时，也可先焊钛侧，但为保持钛侧焊接区域的清洁及防氧化，施工单位应根据实际情况采取有效的防护措施。

6.7.3 非熔化极氩弧焊发生触钨时，应立即停止焊接，该部分焊缝应去除。

6.7.4 焊后应清理焊件表面的焊渣、焊瘤及飞溅物等污物，必要时应对焊缝进行局部修整。

7 焊接质量检验

7.1 检验人员

焊接质量检验人员应经技术培训，能正确掌握焊接质量评级标准，无损检测人员应取得有关部门认可的资格。

7.2 检验程序及项目

焊接质量检验应包括工序检验和成品检验。焊接过程中的每一道工序完成后，应经质量检验人员检验合格，方可进行下道工序施工。成品检验项目一般包括外观检验、无损检测和密性检验。

7.3 外观检验

7.3.1 可用肉眼或 5~10 倍放大镜对焊缝和钛钢接头复合界面的外观进行检验，外观检验率为 100%。

7.3.2 焊缝外形尺寸应符合设计图样的要求。

7.3.3 焊缝成形应均匀一致，与母材圆滑过渡，表面不应有裂纹及超出相关标准规定的咬边、气孔、

夹渣、弧坑等缺陷。

7.3.4 钛钢接头的复合界面不应有剥离等缺陷。

7.3.5 应对所有钛焊缝和热影响区原始状态的表面颜色进行检验，并按表 4 规定进行处理。

表 4 钛焊缝和热影响区表面颜色的规定

焊缝表面颜色	热影响区表面颜色	合格判断	校正措施
银白色	浅黄色或金黄色	合格	—
金黄色	金黄色或淡黄色		—
淡蓝色	淡蓝色	不合格	下道焊缝焊接前，用不锈钢钢丝刷清理焊缝表面
蓝色或紫色	——		完全去除该焊道及邻近金属，再重新焊接前，改善保护条件
灰色或黄色粉状物	——		完全去除该焊道和热影响区，检查保护系统的泄漏、供气等，再重新焊接前，进行焊接气体保护试验

7.4 渗透检验

当设计图样或技术文件有要求时，应对焊缝及钛钢接头的复合界面进行渗透检验，其检验方法按 NB/T 47013.5 的规定。

7.5 密性检验

焊缝及钛钢接头的密性检验，应按设计图样或技术文件的规定。

8 焊接缺陷返修

8.1 当焊缝发现有不允许的缺陷时，应用机械方法清理后予以返修，其返修措施应得到技术人员的同意。同一部位返修次数不宜超过两次。

8.2 对经过两次返修仍不合格的焊缝，第三次返修时，需经技术负责人批准。应将返修次数、部位和返修情况记入质量档案。

8.3 当钛钢接头的复合界面产生剥离缺陷时，应将此段钛钢接头更换并重新焊接，其更换最小长度为 100 mm。