

ICS 47.020.01  
U 05



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13149—2009  
代替 GB/T 13149—1991

## 钛及钛合金复合钢板焊接技术要求

Specification for welding of titanium and titanium alloy clad steel plates

2009-03-23 发布

2009-11-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 材料 .....	2
4 焊工 .....	2
5 焊前准备 .....	2
6 焊接 .....	7
7 焊接质量检验 .....	8
8 焊缝缺陷返修 .....	10
9 焊接环境 .....	10
10 安全防护 .....	10
附录 A (规范性附录) 钛及钛合金焊工考试规则 .....	11
附录 B (资料性附录) 钛及钛合金复合钢板焊接材料 .....	19
附录 C (规范性附录) 钛及钛合金复合钢板焊接工艺评定 .....	20

## 前 言

本标准代替 GB/T 13149—1991《钛及钛合金复合钢板焊接技术条件》。

本标准与 GB/T 13149—1991 相比,主要变化如下:

- 标准名称改为“钛及钛合金复合钢板焊接技术要求”;
- 调整了规范性引用文件;
- 增加了钛及钛合金复合钢板焊接原则条款;
- 明确了钛及钛合金复合钢板采用火焰或等离子弧切割下料时复合板离地面的高度;
- 增加了钛焊缝和热影响区表面颜色的详细划分;
- 修改了附录 A 和附录 B;
- 表 4 改为资料性附录 C《钛及钛合金复合钢板焊接材料》;
- 安全防护改为按 GB 9448《焊接与切割安全》的规定;
- 删除了对接接头中 II 型接头;
- 删除了长期没有生产和订货量的基层钢 22 g 和 15MnVR 和可用母材板的剪条作手工焊丝的表注。

本标准的附录 A、附录 C 为规范性附录,附录 B 为资料性附录。

本标准由中国船舶重工集团公司提出。

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(SAC/TC 12/SC 4)归口。

本标准起草单位:中国船舶重工集团公司第七二五所。

本标准主要起草人:李标峰、王小华、苏雨沛、余巍、王军、任江毅、徐明林、李敬勇。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 13149—1991。

## 钛及钛合金复合钢板焊接技术要求

### 1 范围

本标准规定了钛及钛合金复合钢板焊接的材料、焊工、焊前准备、焊接工艺、焊接质量检验以及焊接缺陷返修等的技术要求。

本标准适用于以钛及钛合金为复层,以碳素钢、低合金钢或不锈钢为基层的总厚度在 8 mm 以上的钛及钛合金复合钢板的焊接。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB 150 钢制压力容器
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口(GB/T 985.1—2008, ISO 9692-1:2003, MOD)
- GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口(GB/T 985.2—2008, ISO 9692-2:1998, MOD)
- GB/T 2650 焊接接头冲击试验方法(GB/T 2650—2008, ISO 9016:2001, IDT)
- GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法(GB/T 2651—2008, ISO 4136:2001, IDT)
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法(GB/T 2653—2008, ISO 5173:2000, IDT)
- GB/T 3323 金属熔化焊焊接接头射线照相
- GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB/T 3623 钛及钛合金丝
- GB/T 4241 焊接用不锈钢盘条
- GB/T 4340.1 金属维氏硬度试验 第1部分:试验方法(GB/T 4340.1—1999, eqv ISO 6507-1:1997)
- GB/T 4698(所有部分) 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
- GB/T 4842 氩
- GB/T 4844.2 纯氩
- GB/T 4844.3 高纯氩
- GB/T 5117 碳钢焊条
- GB/T 5118 低合金钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB/T 8546 钛-不锈钢复合板
- GB/T 8547 钛-钢复合板
- GB 9448 焊接与切割安全
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂

GB/T 14957 熔化焊用钢丝

JB 4708—2000 钢制压力容器焊接工艺评定

JB/T 4730.2—2005 承压设备无损检测 第2部分:射线检测

JB/T 4730.5—2005 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测

JB/T 4745 钛制焊接容器

SJ/T 10743 惰性气体保护电弧焊和等离子焊接、切割用钨钼电极

《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》国家质量监督检验检疫总局 2002年版

《压力容器安全监察规程》国家质量监督检验检疫总局 2002年版

### 3 材料

3.1 钛及钛合金复合钢板及其配套的焊接材料,应具有出厂的质量保证书。当质量保证书不全或者认为有必要时,应按有关标准对材料进行复检。当需对钛复合钢板的复合率作超声复查时,不能用润滑油作耦合剂,而要用水或水玻璃。

3.2 钛及钛合金复合钢板的质量应符合 GB/T 8546、GB/T 8547 或供需双方协议的要求。

3.3 按设计图样选择钛焊丝,钛焊丝应符合 GB/T 3623 或 JB/T 4745 的要求。

3.4 碳素钢、低合金钢及不锈钢焊接材料按设计图样选用。所用的焊条、焊丝与焊剂等应分别符合 GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 983、GB/T 14957、GB/T 4241、GB/T 5293、GB/T 12470 等标准的要求。

3.5 焊接用的氩气应符合 GB/T 4842 的要求;氦气应符合 GB/T 4844.2~4844.3 的要求;焊接用二氧化碳气体应符合 GB/T 6052 的要求。

3.6 钨极氩弧焊接时,宜采用钨钼电极,并应符合 SJ/T 10743 的要求。

### 4 焊工

4.1 焊工应经技术培训,并考试合格,经有关部门认可,取得合格证书后,持证上岗。

4.2 焊工考试规则,可视产品的技术要求按照《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》(基层钢)和附录 A(钛复层)执行。或由施工单位按用户要求自行制定,并取得质量监督部门认可。

4.3 焊工的施焊,应与其资格证书核准的项目相符。

4.4 焊工应遵守焊接工艺规程。

### 5 焊前准备

#### 5.1 下料

钛及钛合金复合钢板的下料宜采用机械方法,也可采用火焰或等离子弧切割等方法,下料时,钛复层应背向火焰,复合板离地面的高度不低于 300 mm。

#### 5.2 接头型式

钛及钛合金复合钢板焊接结构主要采用对接接头和角接接头型式。接头型式应在设计图样上规定。焊接接头中不允许复层钛与基层钢相互熔合。宜采用的接头型式见表 1 和表 2。表 1 中 I 型接头用于非受压构件,II、III、IV、V 型接头用于受压构件。

#### 5.3 坡口型式、尺寸及加工

5.3.1 坡口型式与尺寸的确定,应根据接头型式以及所采用的焊接方法等加以综合考虑。坡口型式与尺寸应按焊接工艺试验或工艺评定结果确定。宜采用表 1 和表 2 所示的坡口型式与尺寸。

5.3.2 坡口加工可用机械方法或其他有效方法进行。加工钛复合钢板坡口时,不能采用油质润滑剂。

表 1 钛及钛合金复合钢板对接接头型式及尺寸

类别	坡口型式	焊缝型式	尺寸/ mm																										
I			<table border="1"> <tr> <td><math>b</math></td> <td><math>P</math></td> <td><math>P_1</math></td> <td><math>\alpha</math></td> </tr> <tr> <td><math>0+1</math></td> <td><math>1+1</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>60^\circ\pm 5^\circ</math></td> </tr> </table>	$b$	$P$	$P_1$	$\alpha$	$0+1$	$1+1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$																		
			$b$	$P$	$P_1$	$\alpha$																							
$0+1$	$1+1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$																										
II			<table border="1"> <tr> <td><math>B</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>b_1</math></td> <td><math>P</math></td> <td><math>P_1</math></td> <td><math>\alpha</math></td> <td><math>\alpha_1</math></td> <td><math>f</math></td> </tr> <tr> <td>焊条 电弧焊</td> <td><math>20+1</math></td> <td><math>2+1</math></td> <td><math>0+1</math></td> <td><math>1\pm 1</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>60^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>45^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>1+0.5</math></td> </tr> <tr> <td>埋弧焊</td> <td><math>20+1</math></td> <td><math>2^{+1}_{-2}</math></td> <td><math>0+1</math></td> <td><math>2^{+1}_{-2}</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>60^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>45^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>1+0.5</math></td> </tr> </table>	$B$	$b$	$b_1$	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$f$	焊条 电弧焊	$20+1$	$2+1$	$0+1$	$1\pm 1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	$1+0.5$	埋弧焊	$20+1$	$2^{+1}_{-2}$	$0+1$	$2^{+1}_{-2}$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	$1+0.5$
			$B$	$b$	$b_1$	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$f$																			
			焊条 电弧焊	$20+1$	$2+1$	$0+1$	$1\pm 1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	$1+0.5$																		
			埋弧焊	$20+1$	$2^{+1}_{-2}$	$0+1$	$2^{+1}_{-2}$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	$1+0.5$																		
		<table border="1"> <tr> <td><math>B_1</math></td> <td><math>B</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>b_1</math></td> <td><math>P</math></td> <td><math>P_1</math></td> <td><math>\alpha</math></td> <td><math>\alpha_1</math></td> </tr> <tr> <td>焊条 电弧焊</td> <td><math>50\pm 1</math></td> <td><math>20+1</math></td> <td><math>2+1</math></td> <td><math>0+1</math></td> <td><math>1\pm 1</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>60^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>45^\circ\pm 5^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>埋弧焊</td> <td><math>50\pm 1</math></td> <td><math>20+1</math></td> <td><math>2^{+1}_{-2}</math></td> <td><math>0+1</math></td> <td><math>2^{+1}_{-2}</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>60^\circ\pm 5^\circ</math></td> <td><math>45^\circ\pm 5^\circ</math></td> </tr> </table>	$B_1$	$B$	$b$	$b_1$	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	焊条 电弧焊	$50\pm 1$	$20+1$	$2+1$	$0+1$	$1\pm 1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	埋弧焊	$50\pm 1$	$20+1$	$2^{+1}_{-2}$	$0+1$	$2^{+1}_{-2}$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$	
		$B_1$	$B$	$b$	$b_1$	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$																				
焊条 电弧焊	$50\pm 1$	$20+1$	$2+1$	$0+1$	$1\pm 1$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$																					
埋弧焊	$50\pm 1$	$20+1$	$2^{+1}_{-2}$	$0+1$	$2^{+1}_{-2}$	$1\pm 0.5$	$60^\circ\pm 5^\circ$	$45^\circ\pm 5^\circ$																					

表 1 (续)

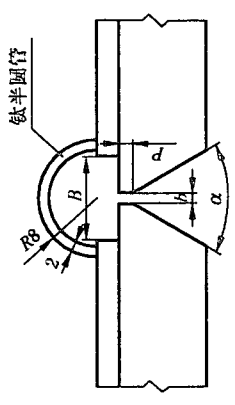
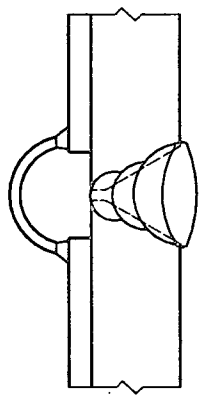
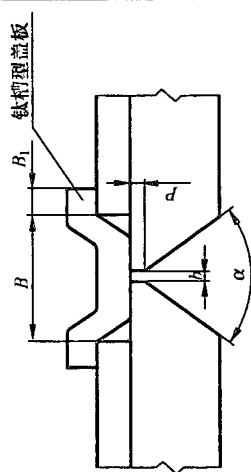
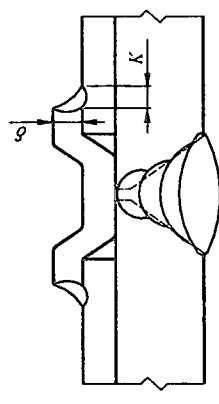
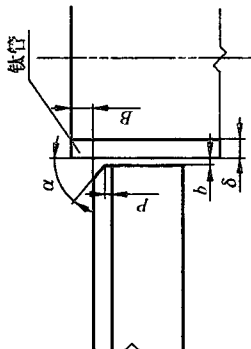
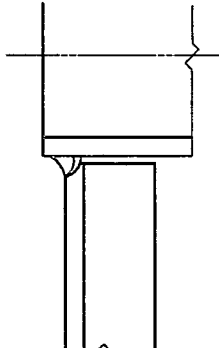
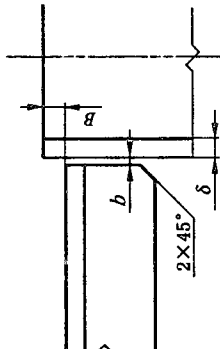
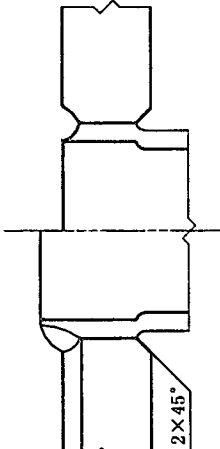
类别	坡口型式	焊缝型式	尺寸/ mm
IV	 <p>半圆管</p>		$B$
			$b$
			$\alpha$
IV			焊条电弧焊
			$10 \pm 1$
			$1 \pm 1$
IV			埋弧焊
			$10 \pm 1$
			$2^{+1}_{-2}$
IV			$60^\circ \pm 5^\circ$
			$2^{+1}_{-2}$
			$60^\circ \pm 5^\circ$
V	 <p>斜形盖板</p>		$B$
			$B_1$
			$P$
V			焊条电弧焊
			$30 \sim 50$
			$1 \pm 1$
V			埋弧焊
			$30 \sim 50$
			$2^{+1}_{-2}$
V			$60^\circ \pm 5^\circ$
			$2^{+1}_{-2}$
			$60^\circ \pm 5^\circ$
V			$\delta + 1$
			$K$
			$\delta + 1$

表 2 钛及钛合金复合钢板角接头型式及尺寸

类别	坡口型式	焊缝型式	尺寸/ mm												
I			<table border="1"> <tr> <td><math>P</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>\alpha</math></td> <td><math>\alpha_1</math></td> <td><math>K</math></td> </tr> <tr> <td><math>3+1</math></td> <td><math>2+1</math></td> <td><math>50^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>60^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>\delta+1</math></td> </tr> </table>	$P$	$b$	$\alpha$	$\alpha_1$	$K$	$3+1$	$2+1$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta+1$		
$P$	$b$	$\alpha$	$\alpha_1$	$K$											
$3+1$	$2+1$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta+1$											
II			<table border="1"> <tr> <td><math>P</math></td> <td><math>P_1</math></td> <td><math>\alpha</math></td> <td><math>\alpha_1</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>b_1</math></td> </tr> <tr> <td><math>2+1</math></td> <td><math>1 \pm 0.5</math></td> <td><math>50^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>60^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>1+1</math></td> <td><math>0+1</math></td> </tr> </table>	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$b$	$b_1$	$2+1$	$1 \pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$1+1$	$0+1$
$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$b$	$b_1$										
$2+1$	$1 \pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$1+1$	$0+1$										
III			<table border="1"> <tr> <td><math>P</math></td> <td><math>P_1</math></td> <td><math>\alpha</math></td> <td><math>\alpha_1</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>b_1</math></td> </tr> <tr> <td><math>3+1</math></td> <td><math>1 \pm 0.5</math></td> <td><math>50^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>60^\circ \pm 5^\circ</math></td> <td><math>1 \pm 1</math></td> <td><math>0+1</math></td> </tr> </table>	$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$b$	$b_1$	$3+1$	$1 \pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$1 \pm 1$	$0+1$
$P$	$P_1$	$\alpha$	$\alpha_1$	$b$	$b_1$										
$3+1$	$1 \pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$	$1 \pm 1$	$0+1$										



表 2 (续)

类别	坡口型式	焊缝型式	尺寸/ mm															
IV			<table border="1"> <tr> <td><math>B</math></td> <td><math>b</math></td> <td><math>P</math></td> <td><math>a</math></td> </tr> <tr> <td><math>\geq \delta</math></td> <td><math>0+1</math></td> <td><math>1\pm 0.5</math></td> <td><math>50^\circ \pm 5^\circ</math></td> </tr> </table>	$B$	$b$	$P$	$a$	$\geq \delta$	$0+1$	$1\pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$							
$B$	$b$	$P$	$a$															
$\geq \delta$	$0+1$	$1\pm 0.5$	$50^\circ \pm 5^\circ$															
V			<table border="1"> <tr> <td><math>\delta</math></td> <td><math>0.5\sim 1</math></td> <td><math>1\sim 1.5</math></td> <td><math>2\sim 2.5</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><math>B</math></td> <td>无应力槽</td> <td><math>0.5\sim 1</math></td> <td><math>1\sim 1.5</math></td> </tr> <tr> <td>有应力槽</td> <td><math>0\sim 0.5</math></td> <td><math>0.5\sim 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>b</math></td> <td colspan="3">由设计图样定</td> </tr> </table>	$\delta$	$0.5\sim 1$	$1\sim 1.5$	$2\sim 2.5$	$B$	无应力槽	$0.5\sim 1$	$1\sim 1.5$	有应力槽	$0\sim 0.5$	$0.5\sim 1$	$b$	由设计图样定		
$\delta$	$0.5\sim 1$	$1\sim 1.5$	$2\sim 2.5$															
$B$	无应力槽	$0.5\sim 1$	$1\sim 1.5$															
	有应力槽	$0\sim 0.5$	$0.5\sim 1$															
$b$	由设计图样定																	

## 5.4 焊前清理

5.4.1 焊接前,应清除切口的氧化层。

5.4.2 钛填条、钛盖板及钛丝,焊前需经化学清洗。清洗液的配方及清洗要求见表 3。

表 3 钛酸洗溶液的配方及清洗要求

溶液成分	配一升所需量/ (mL/L)	酸洗温度/ ℃	酸洗时间/ min
HNO <sub>3</sub>	170	室温	10~20
HF	45		
H <sub>2</sub> O	785		

5.4.3 酸洗后的钛填条、钛盖板及钛丝用清水冲净,然后烘干,即可使用。使用时不应被污染。

5.4.4 当结构件制造的周期较长时,装配好的工件坡口易被污染。为保持钛面坡口清洁,可采用贴上免水胶带等防范措施。

5.4.5 施焊前,基层钢及复层钛的坡口区应该洁净,没有污物。若加工的坡口被污染,应进行清洗或用机械方法(如刮刀、不锈钢丝刷)加以清理。对于基层钢,其清洁范围距坡口边缘,焊条电弧焊时应不小于 15 mm,埋弧焊时应不小于 30 mm。钛复层清洁范围离焊边应不小于 40 mm。

## 5.5 焊件装配

厚度相同的钛复合钢板焊件的装配,应以复层表面为基准。厚度不同的钛复合钢板焊件的装配基准,按设计图样的规定执行。

## 6 焊接

### 6.1 焊接原则

钛和钢熔焊的焊缝会产生脆裂,钛在熔焊时不应与钢熔合。

### 6.2 焊接方法及设备

6.2.1 基层钢的焊接宜采用焊条电弧焊、埋弧焊或熔化极气体保护焊等方法。选用相应的焊接设备。

6.2.2 钛复层的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。选用相应的手工焊、自动气体保护焊机等焊接设备。

6.2.3 钛复合钢板法兰复合端面、钛环与钢结合端面或其他类似的钛-钢结合面,若需密封,可采用银钎焊或其他有效的粘结方法填满。

6.2.4 焊机的引弧、稳弧性能要好,焊接过程中的参数稳定,焊接规范便于调节,水、气供应系统安全可靠。

6.2.5 氩弧焊枪的保护性能要好。输送氩气或(氩气+氮气)混合气应采用塑料管等不易吸潮材质的管子。若发现管子老化或损伤应及时更换。

### 6.3 焊接材料

钛复合钢板焊接材料可参见附录 B 选用,亦可按设计图样上的要求通过工艺评定确定。

### 6.4 焊接工艺评定

6.4.1 当产品要求进行焊接工艺评定时,应在焊前进行焊接工艺评定。

6.4.2 焊接工艺评定是对基层钢、复层钛分别进行焊接工艺评定,但应考虑到复合板焊接接头的特点。其评定办法可按照 JB 4708(用于基层钢)及附录 C 进行,或由施工单位根据产品结构的特点及技术要求自行制定评定标准,并应取得相应的质量监督部门的认可。

### 6.5 焊接工艺规程

施工单位焊接前应根据产品结构特点、技术要求及评定合格的焊接工艺等,制定出合理的焊接工艺规程。同时应根据钛复层焊接时易氧化的特性制定出具体保护措施,如加拖罩或反面保护等。

## 6.6 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试验或焊接工艺评定确定。原则上应采用小的焊接线能量,避免焊件的过热。

## 6.7 焊接程序

6.7.1 先焊基层钢,在基层钢焊缝经质量检验合格后,再焊接复层钛。

6.7.2 定位焊前检查坡口尺寸及装配质量。

6.7.3 定位焊应由持证焊工承担,并采用与正式焊接相同的焊接材料及焊接工艺。定位焊后应再检查装配间隙、错边量及定位焊缝质量,符合图样上的技术要求后方可施焊。

6.7.4 校正变形忌用铁器直接与钛面接触,以免铁污染。

6.7.5 I类对接接头的焊接按下列要求进行:

- a) 钢面打底层焊接应采用小规范,防止焊透到钛面,以免开裂。还应防止钛面氧化以及复层钛与基层钢界面的剥离。
- b) 钢面焊完,钛复层坡口清洁后即可焊接,一般采用手工钨极惰性气体保护焊。第一道应不加丝深熔,未焊透层一般控制在 0.5 mm 以下。以后各道应加填充焊丝,直至焊满。

6.7.6 II类~V类对接接头的焊接按下列要求进行:

- a) 钢面要求焊透。当采用埋弧焊时,应先用手工焊打底。钢面焊完后检查焊透程度,未焊透的应在复层一侧进行补焊。钢焊缝应进行表面质量检查和射线检测,合格后,方可进行复层钛的焊接。
- b) 钛复层焊接前,在钛复层凹槽内放进约 20 mm 宽的钛填条。钛填条的宽度应按凹槽实际尺寸进行下料,避免留有间隙。II类接头钛填条的曲率应采用模压成形。
- c) 钛复层与钛填条之间的定位焊点间距约 50 mm,焊点尺寸约 5 mm~10 mm。填条左右两条缝的定位焊点相互错开。定位焊不加焊丝。
- d) 钛复层的焊接应采用线能量小,但又不熔到钢面,并能获得最大熔深的焊接工艺。II类~V类接头焊接时,背面应通氩气保护。
- e) III类~V类接头钛盖板(钛半圆管)与钛复层焊接时,应选择较小的规范,以防止复合界面剥离。
- f) 由于焊道增多,施焊时应注意层间温度(尤其钛填条本身的对接缝),道间温度应低于 150 ℃。
- g) 钛复层与钛盖板、钛半圆管的角接缝,应根部焊透,焊缝表面呈微凹形。

6.7.7 钛面焊接时,宜采用引弧板和熄弧板。不允许在坡口外工件表面打弧。

6.7.8 焊接过程中定位焊点开裂,造成板边错位或间隙变化,应立即停止焊接,经过修复后方可继续施焊。

6.7.9 发生触钨时,应立即停止焊接,并应铲除该部分焊缝。

6.7.10 焊接施工宜在平焊位置进行。

6.7.11 焊工应穿戴清洁工作服、工作鞋及白手套才能进入钛复层施焊区施工。

6.7.12 焊后应清除焊件表面的焊渣、焊瘤、飞溅物以及其他污物。必要时应对焊缝进行局部修整。

6.7.13 施焊后,焊工在钢面焊缝附近指令位置上打上焊工钢印(包括表明钛复层焊缝)。有特殊要求时,按设计图样规定。

6.7.14 若用热处理的办法来消除焊接结构残余应力,其处理制度应按设计图样上规定的执行。

## 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,能正确掌握焊缝质量评判标准。无损检测检验人员应具有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。焊接工序之间应经质检人员认可后,方可转入下道工序施工。成品检验项目一般包括外观检验、无损检测、焊接接头力学性能试验、铁离子检查、压力试验及密性试验等。

### 7.3 外观质量检验

7.3.1 可用肉眼或五倍放大镜检查焊缝外形尺寸及表面质量进行检查,外观检查率为100%。

7.3.2 焊缝外形几何尺寸应符合设计图样要求。

7.3.3 焊缝成形应均匀、致密、平滑地向母材过渡,不应有裂纹、未熔合以及超出规定的咬边、气孔、夹渣、弧坑等缺陷。

7.3.4 当产品设计图样上无规定时,钛焊缝不应有咬边。钢焊缝的咬边深度不应大于基层板厚的10%,且不应大于0.5 mm,咬边的连续长度不应大于100 mm,焊缝两侧咬边的总长度不应超过该焊缝总长度的10%。

7.3.5 钛焊缝表面不允许存在深度大于等于0.5 mm的划伤。若有大于等于0.5 mm的划伤应清除。清除后的焊缝表面不应低于母材表面。

7.3.6 应对所有的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的规定进行处理。

表4 钛焊缝和热影响区表面颜色的规定

焊缝与热影响区表面颜色	保护状况	合格判断	处理方法
银白色、浅黄色	良好	合格	不用处理
金黄色	尚好		可不用处理
兰色	稍差	只可用于非重要部位	去除氧化色
紫色	较差	只可用于常压容器	去除紫色,去不掉应返修
灰色	差	不合格	返修
黄色粉状物	极差		

注:表中的保护状况一栏表明惰性气体的保护差异。

### 7.4 无损检测

7.4.1 钢焊缝射线检测按照 GB/T 3323 或 JB/T 4730.2—2005 规定的方法进行,或按供需双方协议的要求。

7.4.2 钛复层焊缝按 JB/T 4730.5 规定的方法进行渗透检测。

7.4.3 7.4.1、7.4.2 的无损检测方法、检测范围及合格标准,应符合设计图样和技术条件的规定,或符合供需双方协议的要求。

### 7.5 焊接接头力学性能试验

7.5.1 焊接接头力学性能试验包括接头拉伸、弯曲及冲击试验(有要求时)。

7.5.2 取两个接头拉伸试样按 GB/T 2651 进行试验。焊接接头的抗拉强度值不应低于基层钢板标准规定抗拉强度的下限值。

7.5.3 取面弯两个(基层钢受拉)按 GB/T 2653 进行试验,弯轴直径、弯曲角度的合格判定按《压力容器安全监察规程》或有关标准进行。

7.5.4 接头冲击试验按 GB/T 2650 规定的方法进行。冲击试样上的槽口位置、试验温度及冲击值按设计图样要求进行。

7.5.5 当产品设计图样对焊接接头力学性能有特殊要求时,按图样技术要求执行。

### 7.6 铁离子检查

7.6.1 钛复层焊接后,焊接区应进行铁离子检查。

7.6.2 铁离子检查液的配方是:铁氰化钾  $K_3[Fe(CN)_6]$  3 g,盐酸 20 mL,蒸馏水 75 mL。

7.6.3 检查前,被检表面用丙酮擦净。检查时,受检表面滴上检查液,若检查液呈橙色(溶液本色),表明钛面无污染。若检查液呈蓝色,说明钛面有污染,则该表面应用丙酮重新擦拭,直至检查液呈橙色为止。

#### 7.7 压力试验及密性试验

7.7.1 当设计图样有要求时,进行该项试验,试验方法可按照 GB 150 规定的方法进行。

7.7.2 从基层侧监察孔对钛焊缝进行密性检查,发现泄露即行焊补。

#### 7.8 耐蚀性试验

对焊接接头有耐腐蚀性要求时,由供需双方共同商定检验项目、试验方法及评定标准。

### 8 焊缝缺陷返修

8.1 当焊缝上有不允许存在的缺陷,经清除后需返修时,其返修措施应得到技术人员的同意。焊缝同一部位的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,需经技术总负责人批准。返修后应将返修次数、部位和返修情况记入质量档案。

### 9 焊接环境

9.1 钛复合钢板焊接施工宜在室内进行。

9.2 场地环境应清洁明亮。钛材焊接区应与钢作业区隔开。环境相对湿度应小于 90%。

9.3 外场施焊时,应有防风、防雨、防曝晒等设施。

9.4 当焊件温度低于 0 °C 时,应在始焊处 80 mm 范围内进行预热。其预热温度不低于 15 °C。

9.5 钛酸洗槽不应设置在钛件焊接车间内。废酸液排放应符合要求。

### 10 安全防护

安全防护按 GB 9448 及其他有关规定执行。

附 录 A  
(规范性附录)  
钛及钛合金焊工考试规则

### A.1 总则

A.1.1 从事钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊的焊工,应按本规则经基本知识和操作技能考试合格后,方可担任钛制结构件的焊接工作。

A.1.2 焊工考试应在焊接工艺评定合格后进行。考试所有的钛材、焊接材料、焊接设备和检测设备应符合有关技术标准的要求,测量仪表应经检定合格。

### A.2 考试的组织和监督

A.2.1 焊工考试由焊工考试委员会负责组织实施。

A.2.2 考试委员会由下列人员组成:

- a) 总工程师或技术负责人;
- b) 焊接工程师 1 名~2 名;
- c) 技术检查部门的代表或者 I 级或 II 级资格的锅炉压力容器射线检测人员 1 名;
- d) 焊工技能教师或能指导焊工操作的焊接技师或焊工 1 名;
- e) 企业的焊工考试委员会可增加劳资或教育部门的代表 1 名。

A.2.3 焊工考试委员会设主任委员 1 名,副主任委员 1 名~2 名。主任委员由总工程师或技术负责人担任,副主任委员中应有焊接工程师。

A.2.4 企业焊工考试委员会的日常工作可委托企业内有关职能部门办理。

A.2.5 焊工考试委员会的职责包括:

- a) 审查焊工资格;
- b) 制定考试计划,确定考试内容;
- c) 评定考试成绩,办理合格证,发放焊工钢印;
- d) 审查持证焊工的免试资格。

A.2.6 焊工考试委员会须经企业所在地的地、省辖市劳动部门锅炉压力容器安全监察机构或有关部门批准。

A.2.7 考试委员会在考试前 10 d 将考试日期、地点通知焊工和上级有关部门。

A.2.8 地、省辖市或省级劳动部门锅炉压力容器安全监察机构或有关部门有权对焊工考试进行监督。焊工考试监督工作主要内容是审查考试计划、内容和试题,检查有无焊接工艺评定,复核焊工资格,监督考试试件的焊接和评定,检查考场纪律等。

### A.3 焊工考试资格、重新考试及免试

#### A.3.1 焊工考试资格

A.3.1.1 凡是具有初中或初中以上文化程度或同等学历、身体健康、能独立担任焊接工作的焊工,均可向考委会提出申请,经考委会批准后方可参加考试。

A.3.1.2 因连续出现质量问题,被吊销合格证的焊工在处罚期不应申请考试。

#### A.3.2 重新考试

A.3.2.1 焊工合格证有效期为 3 年,在期满前应重新考试。

A.3.2.2 持证焊工中断钛合金焊接工作 6 个月以上,应重新考试。

**A. 3.3 免试条件**

有效期将满,但同时满足下列条件的,可以免试:

- a) 有完整的焊工质量档案,对焊接质量统计详细;
- b) 焊接过程中没有发生过同一部位返修超过两次或因操作不当而割掉焊缝或导致焊件报废的质量事故;
- c) 连续中断该项焊接工作不超过 6 个月;
- d) 免试手续得到有关部门批准。

**A. 4 考试内容和方法**

**A. 4.1** 焊工考试包括基本知识考试和操作技能考试两部分。首次参加考试的焊工应待基本知识考试合格后,才能参加操作技能考试。

基本知识的考试内容、操作技能的考试项目由考试委员会根据本规则的规定和焊工将担任的焊接工作确定。

**A. 4.2** 基本知识的考试范围包括:

- a) 焊接安全技术;
- b) 常用钛材的牌号、化学成分和力学性能;
- c) 焊接材料(焊丝、气体、钨极等)牌号、使用和保管;
- d) 焊接设备、测量仪表的名称、性能、使用和维护;
- e) 钛及其合金的焊接特点,影响焊接质量的主要因素;
- f) 焊接方法的特点、焊接工艺参数、焊接顺序、操作方法及其对焊接质量的影响;
- g) 焊接缺陷产生的原因、预防方法、控制标准、检验方法和返修措施;
- h) 焊接接头性能及其影响因素;
- i) 焊接应力和焊接变形产生的原因及采取相应措施;
- j) 接头形式、焊缝代号、图样识别。

**A. 4.3** 操作技能的考试内容包括:

- a) 考试内容应按产品结构的特点及焊工申报的项目确定。考试项目可由焊接方法、母材牌号、试件类别三部分组成。
- b) 焊接方法的分类见表 A. 1,各类之间不能互相代替。

**表 A. 1 焊接方法分类**

分 类 号	焊 接 方 法
GTAW	钨极气体保护焊
GMAW	熔化极气体保护焊

- c) 母材牌号类别见表 A. 2。在表 A. 2 的同一类中,一种牌号考试合格后,可免去该类其他牌号钛材的考试。类别较高的考试合格后,可免去类别较低的考试。当产品钛材牌号在表 A. 2 之外时,考试委员会可根据焊接性试验或焊接工艺评定的结果对钛材进行分类。分类意见报有关部门审查、备案。对于异种钛材焊接,若两类母材均在表 A. 2 中,且焊工对两者中较高类别的已考试合格,则可免于考试。异种钛材分类号可用“×/×”表示。
- d) 试件类别根据试件的型式、厚度和位置划分见表 A. 3。

**表 A. 2 母材牌号分类**

分 类 号	钛及钛合金牌号
I	TA0、TA1、TA9
II	TA2、TA3、TA10

表 A.3 试件分类

分类号	试件型式	试件厚度和管径/ mm		施焊产品的厚度和管径/ mm		试件位置
		厚度	管外径	厚度	管外径	
1G	板 (对接)	2~6	—	1.5~12	—	平焊, 见图 A. 1a)
2G						横焊, 见图 A. 1b)
3G						立焊, 见图 A. 1c)
4G						仰焊, 见图 A. 1d)
1G	管 (对接)	2.5~6	25~60	2~12	不限	水平转动, 见图 A. 1e)
2G						垂直固定, 见图 A. 1f)
5G						水平固定, 见图 A. 1g)
6G						45°固定, 见图 A. 1h)
2FRG	管板	管 3~6 板 12~16	22~60	≥2	不限	水平转动, 见图 A. 1i)
2FG						垂直固定平焊, 见图 A. 1j)
4FG						垂直固定仰焊, 见图 A. 1k)
5FG						水平固定, 见图 A. 1l)
6FG						45°固定, 见图 A. 1m)

- e) 在相应的试件厚度范围内, 水平固定的管状试件考试合格后, 可免考水平转动的管状试件; 垂直固定的管状试件考试合格后, 可免考横焊的板状试件。但板状试件考试合格后, 不能免去管状试件的考试。骑座式管板试件考试合格后, 可免考相同焊接位置的插入式管板试件。
- f) 水平固定和垂直固定的管状试件都考试合格后, 可以焊接各种位置的管子对接接头。水平固定和垂直固定的管状试件都考试合格后, 可以焊接各种位置的管子对接接头。

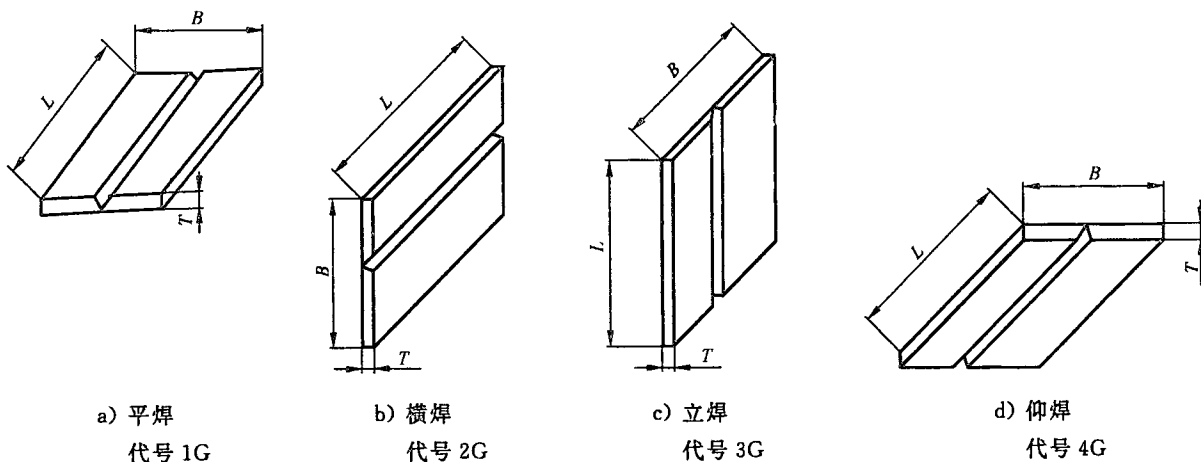


图 A.1 试件型式和位置



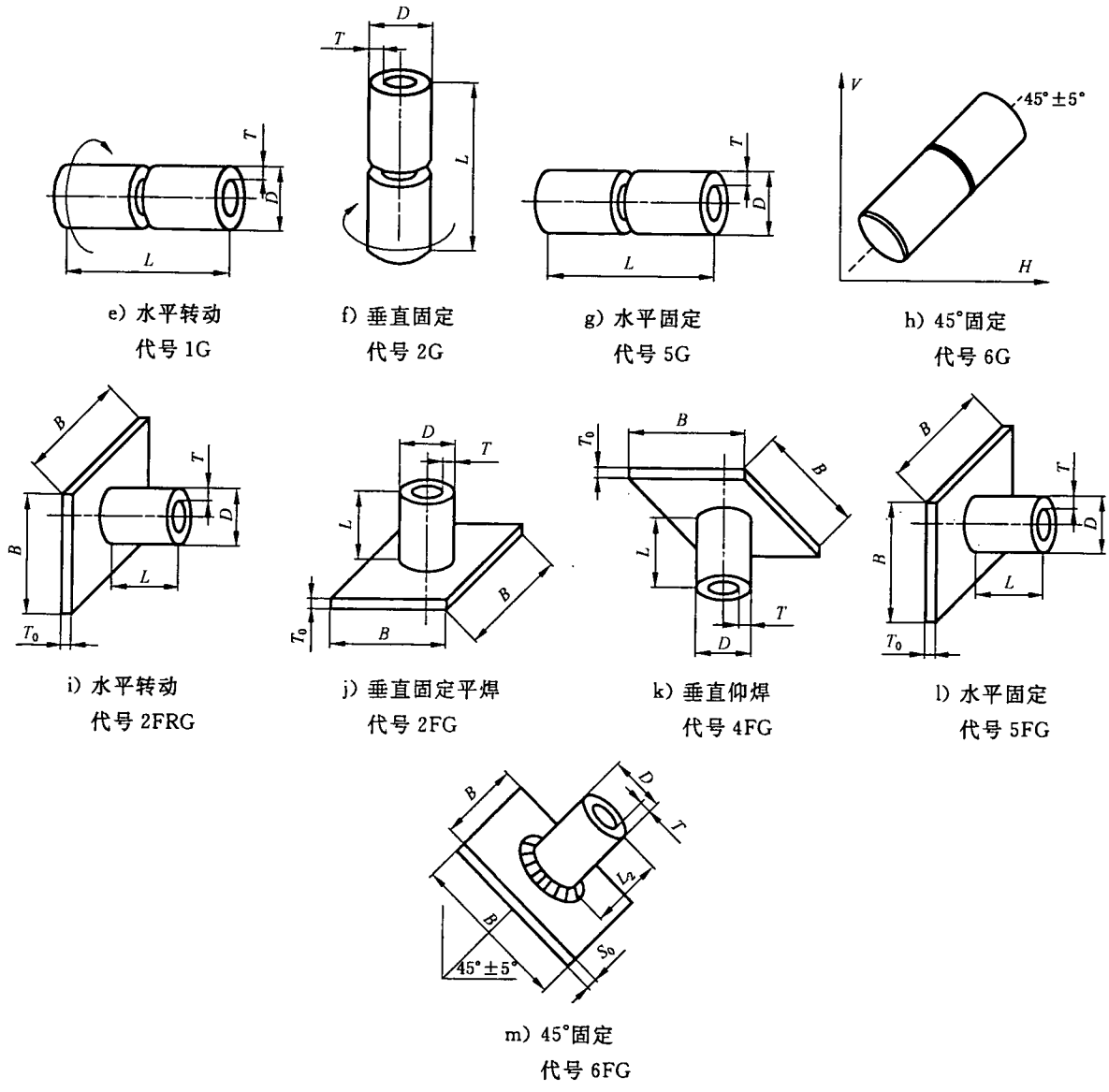


图 A.1 (续)

g) 在重新考试时,仰焊的板状试件考试合格的焊工,可免考平焊的板状试件。平焊、立焊和仰焊的板状试件均合格的焊工,水平固定的管状试件考试合格后,可免考相应厚度范围内的平焊、立焊和仰焊的板状试件。但是,板状试件考试合格的焊工,不能免去管状试件的考试。

A.4.4 参加板状试件或首次参加管板试件考试的手工钨极气体保护焊工,应考平焊板状试件。

A.4.5 考试试件的尺寸和数量见表 A.4。

表 A.4 考试试件尺寸和数量

单位为毫米

焊接方法	试件型式	试件尺寸					试件数量
		L	B	T	D	T <sub>0</sub>	
手工焊	板	≥300	≥200	2~6	—	—	1
	管	≥200	—	2.5~6	25~60		3
	管板	≥60	≥100	3~6	22~60	12~16	1

表 A.4 (续)

单位为毫米

焊接方法	试件型式	试件尺寸					试件数量
		L	B	T	D	T <sub>0</sub>	
自动焊	板	≥400	≥240	2~8	—	—	1
	管	≥200	—	2.5~6	25~60		3
	管板	≥60	≥100	3~6	22~60	12~16	4

注：L、B、T、D、T<sub>0</sub> 的含义见图 A.1。

A.4.6 试件的坡口尺寸由焊工考试委员会确定。

A.4.7 对焊接试件的具体要求包括：

- a) 试件的坡口应光洁、平整，不应有油污及氧化皮等。
- b) 所用的焊接材料(焊丝、钨极、氩气、氮气)均须有质量合格证书，并经考试委员会鉴定认可。焊丝应酸洗干净、烘干，随用随取。
- c) 焊前考委会将焊接工艺指导书发给应试焊工，并会同焊工将试件打上焊工考试代号及考试项目代号钢印。
- d) 水平固定的管状试件及管板试件应打上钟点记号，焊接时严格按钟点记号固定试件；定位焊缝不能在六点处。在焊接过程中，焊工不应自行改变焊接位置。
- e) 3 mm~6 mm 板状试件允许刚性固定。
- f) 手工氩弧焊的试件应从单面焊接，背面不应加垫板。
- g) 自动焊允许加引弧板和熄弧板。

#### A.5 考试成绩评定和发证

A.5.1 焊工基本知识考试采用百分制评分，60分为及格。焊工操作技能的考试项目在满足各项检验要求后，此考试项目为合格。但对于应考平焊板状试件的，只有考平焊板状试件合格后，其他的合格项目才能生效。

A.5.2 试件的检验项目、检验数量和试样数量见表 A.5。每个试件先进行外观检查，合格后再进行其他项目的检验。

A.5.3 试件外观用肉眼或五倍放大镜检查。检查焊缝正面和背面的缺陷性质和数量，并用测量工具测定缺陷位置和尺寸。手工焊板状试件两端 20 mm 内的缺陷不计，焊缝的余高和宽度可用焊口检测器测量最大值和最小值，但不取平均值。单面焊的背面焊缝宽度可不测定。

A.5.4 外观检查应符合以下要求：

- a) 焊缝表面应是原始状态，没有加工、补焊或返修。
- b) 焊缝外形尺寸见表 A.6，其中：
  - 1) 对于 I 类坡口试件，焊缝不直度(指焊缝中心线扭曲偏移)应不大于 2 mm，焊缝宽度差应不大于 2 mm，此坡口增宽值可不测量。
  - 2) 管板试件的焊缝凸度与凹度应不大于 1.5 mm，骑座式管板试件的焊脚为 $[T+(2\sim5)]$ mm (T 为壁厚，单位为毫米，下同)，插入式管板试件的焊脚为 $[T+(1\sim3)]$ mm。
  - 3) 单面焊的板状试件和外径大于或等于 133 mm 的管状试件背面焊缝余高应不大于 3 mm。
  - 4) 外径小于或等于 60 mm 的管状试件和骑座式管板试件进行通球检验。管外径大于或等于 32 mm 时，通球直径为管内径的 85%；管外径小于 32 mm 时，通球直径为管内径的 75%。

表 A.5 试件的检验项目、检验数量和试样数量

试件 型式	试件厚度或直径/ mm		检验项目						宏观金相 (检查)
	厚度	管外径	外观检查/ 件	射线检测/ 件	断口检验/ 件	弯曲试验			
						面弯/ 个	背弯/ 个	侧弯/ 个	
板	2~6	—	1	1	—	1	1	—	
管	2.5~6	25~60	3	—	2				
管板	3~6	22~60	1	—	—	—		—	

表 A.6 焊缝外形尺寸

单位为毫米

焊接方法	焊缝余高		焊缝余高差		焊缝宽度	
	平焊	其他位置	平焊	其他位置	比坡口每侧增宽	宽度差
手工氩弧焊	0~3	0~4	≤2	≤3	0.5~2.5	≤3
自动氩弧焊		0~3		≤2		

- c) 各种焊缝表面不应有裂纹、未焊透、未熔合及咬边。手工焊缝背面凹坑,当板厚小于或等于 6 mm 时,深度应不大于 20%板厚,且不大于 1 mm,总长度应不超过焊缝有效长度的 10%(仰焊不作规定)。自动焊缝不允许有背面凹坑。
- d) 焊缝表面的颜色应符合 7.3.6 的要求。
- e) 板状试件焊后变形角度  $\theta$  不大于  $3^\circ$ ,见图 A.2a),试件的错边量应不大于 10%T,且应不大于 2 mm,见图 A.2b)。

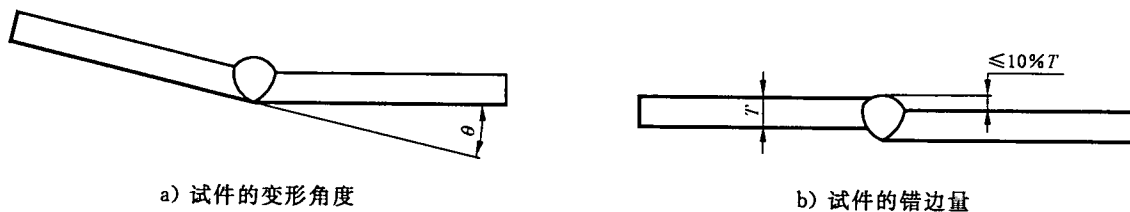


图 A.2 板状试件的变形角度和错边量

- f) 属于一个考试项目的所有试件的外观检查的结果均符合上述各项要求,该项目试件的外观检查才合格。

A.5.5 试件的射线检测应符合 GB/T 3323 或 JB/T 4730.2—2005 的规定。

A.5.6 试件的断口检验是用机械方法在其焊缝上加工出一条沟槽,沟槽断面的形状和尺寸见图 A.3,然后将试件压断或折断,检查断口缺陷。

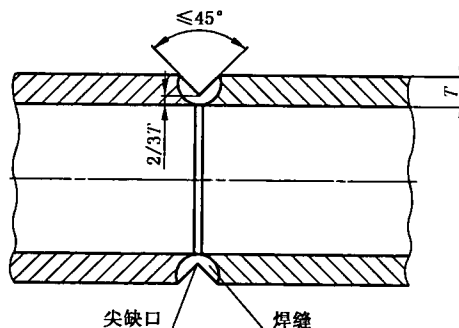


图 A.3 断口检验试样沟槽断面的形状和尺寸

A.5.7 试件的断口检验应符合下列要求：

- a) 断面上没有裂纹、未熔合和未焊透；
- b) 背面凹坑深度应不大于 20%T,且应不大于 1 mm；
- c) 单个气孔沿径向应不大于 30%T,且应不大于 1.5 mm,沿轴向或周向应不大于 2 mm；
- d) 沿圆周方向 10T 范围内,气孔和夹渣(夹钨)的累计长度应不大于 T；
- e) 沿壁厚方向同一直线上各种缺陷总和应不大于 30%T,且应不大于 1.5 mm,每个试件位置的两个断口试样检验结果均符合上述要求才合格,否则为不合格。

A.5.8 试件的弯曲试验是截取焊接接头横向弯曲试样进行试验：

- a) 试样的尺寸及弯曲试验方法按 GB/T 2653 规定。
- b) 试样的弯曲角度应符合表 A.7 的要求,其中：
  - 1) 当弯曲到表 A.7 规定的角度后,在试样凸面的任一方向上不应有超过 3 mm 长的开裂缺陷。试样的棱角开裂不计,但确因焊接缺陷引起的试样棱角开裂的长度应进行评定。
  - 2) 试件的两个弯曲试样的试验结果各自评定,均合格时,为合格。两个试样均不合格时,为不合格。若只有一个试样不合格时,允许从原试样上另取一个试样复验。复验合格,才为合格。

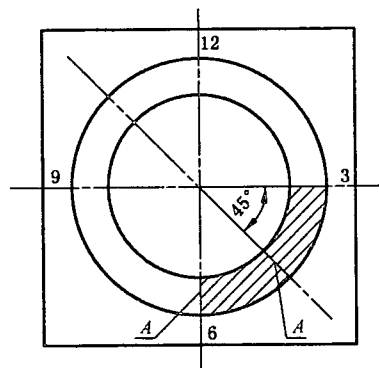
表 A.7 试样的弯曲角度

焊接试板合金牌号	弯轴直径 D/ mm	弯曲角度
TA0、TA1、TA9	8T	180°
TA2、TA3、TA10	10T	180°

注：T 为试样厚度。

A.5.9 管板的宏观金相检验,按下列方法进行：

- a) 管板试件按图 A.4 规定的位置截取金相试样,进行宏观检验。
- b) 试样的检查面应用机械方法截取,用金相砂纸磨光,用表 A.8 比例配制的试剂对受检面进行侵蚀。



注：A 面为宏观金相检查面。

图 A.4 管板试件金相试样的截取位置

表 A.8 试剂的比例配制

成分	氢氟酸	硝酸	盐酸	水
体积百分比/ %	0.5	0.25	1.5	其余

c) 每个宏观金相试样检查面应符合以下要求:

- 1) 没有裂纹和未熔合;
- 2) 骑座式管板试件不允许未焊透,插入式管板试件在接头根部熔深应不小于 0.5 mm;
- 3) 气孔的最大尺寸不超过 1.5 mm,当气孔尺寸大于 0.5 mm,不大于 1.5 mm 时,其数量不多于一个;当气孔不大于 0.5 mm 时,其数量不多于三个。

A. 5. 10 基本知识和操作技能的考试结果应记入焊工考试记录表,经考试委员会主任委员签字或盖章后存档。

A. 5. 11 当基本知识考试合格,并且操作技能考试至少有一个项目的试件检验合格(若有平焊的板状试件,应合格)时,焊工的考试才合格。凡进行焊接工艺评定试验合格的焊工,在操作技能考试时,可对该项目免试。考试合格的焊工,由市劳动局或有关单位签发焊工合格证。

A. 5. 12 焊工操作技能考试有某项或全部项目不合格者,允许在一个月内补考一次,每个补考项目的试件数量按表 A. 4 的规定。检验项目、检验数量和试样数量按表 A. 5 的规定。弯曲试验时,试样不合格,均不允许复验。补考不合格者或未补考的不合格者经一段时间培训可重新申请考试,但与前次考试的间隔时间应不少于三个月,考试内容包括基本知识和操作技能。

#### A. 6 持证焊工的管理

A. 6. 1 持证焊工只能担任考试合格范围内的焊接工作。焊工合格证有效期为 3 年,在有效期内对国内各单位同等有效。

A. 6. 2 持证焊工因工作需要增加操作技能项目时,应考增加项目的操作技能,一般可不考基本知识,但改变焊接方法时,应考基本知识。

A. 6. 3 焊板焊工若平焊项目有效期满而重新考试又不合格时,其他板状试件项目尽管有效期未滿,但都随之失效。

附 录 B  
(资料性附录)  
钛及钛合金复合钢板焊接材料

钛及钛合金复合钢板焊接材料选用见表 B.1。

表 B.1 焊接材料

母材牌号	焊条电弧焊	埋弧自动焊		气体保护焊	
	焊条	焊丝	焊剂	焊丝	保护气体
Q235-B、CCS-A、 CCS-B、20、Q245R	E4303(J422)、 E4315(J427)、 E4316(J426)	H08A、H08MnA	SJ101、HJ431	H08Mn2Si、 H08Mn2SiA、 H10Mn2	CO <sub>2</sub> 或 CO <sub>2</sub> + Ar
Q345、Q345R	E5003(J502)、 E5015(J507)、 E5016(J506)	H08MnA、 H08Mn2、 H10MnSi、 H10Mn2、 H08Mn2SiA、 H08Mn2MoA	SJ101、 HJ431、 HJ430、 HJ350	H08Mn2SiA、 H08Mn2MoA、 H10MnSi	
Q390、Q420	E5003(J502)、 E5015(J507)、 E5016(J506)、 E5501-G(J553)、 E5515-G(J557)、 E5516-G(J556)				
06Cr18Ni11Ti	E347-15、 E347-16	H0Cr21Ni10Ti	HJ260、 SJ601、 HJ107	H0Cr20Ni10Ti、 H0Cr20Ni10Nb	Ar
06Cr17Ni12Mo2Ti	E318-16	H0Cr19Ni12Mo2		H0Cr19Ni12Mo2	
TA0、TA1、TA2	—	—	—	TA0、TA1、TA2	Ar 或 Ar + He
TA3				TA3	
TA9				TA9	
TA10				TA10	

附 录 C  
(规范性附录)

钛及钛合金复合钢板焊接工艺评定

C.1 总则

C.1.1 本附录适用于钛及钛合金复合钢板制作结构件时钛材的焊接工艺评定。基层钢的焊接工艺评定按照 JB 4708—2000 的规定。

C.1.2 工艺评定所采用的焊接方法包括钨极气体保护焊和熔化极气体保护焊。

C.1.3 进行工艺评定时,所用的设备应处于正常工作状态。钛材和焊接材料应符合相应的标准规定。

C.1.4 施焊者技术应熟练。

C.1.5 焊接工艺评定因素分为基本因素、补加因素和次要因素,各种焊接工艺评定因素的划分按 JB 4708—2000 的规定。变更任何一个基本因素、补加因素都应重新评定焊接工艺,填写“焊接工艺评定报告”,制定“焊接工艺规程”。变更次要因素只应修订“焊接工艺规程”,不需要重新评定。

C.1.6 焊接工艺评定之前应拟出焊接工艺评定指导书,评定后应提出焊接工艺评定报告。

C.2 焊接工艺评定规则

C.2.1 改变焊接方法需重新评定。

C.2.2 为减少焊接工艺评定的数量,将采用的钛材分成两类(见表 C.1),并按下列规定进行评定:

表 C.1 钛及钛合金分类

类别号	钛及钛合金牌号
I	TA0、TA1、TA9
II	TA2、TA3、TA10

a) 钛材的类别号改变时,应重新评定;

b) 当改用同级别号钛材时,可以不重新评定;

c) 在同类别号中,高级别号钛材的评定适用于低级别号钛材;

d) 当两种类别号或两种级别号的钛材相焊时,高级别号的评定适用于该级别号钛材与低级别号钛材所组成的焊接接头,高类别号钛材的评定适用于该类别号钛材与低类别号钛材组成的焊接接头。

C.2.3 焊接工艺经评定合格后,根据试件的厚度确定适用于焊件母材和焊缝金属厚度范围,其适用范围见表 C.2。

表 C.2 焊件母材和焊缝金属厚度范围

单位为毫米

评定用试件的母材厚度 $T$	最小值	最大值	适用于焊件焊缝金属厚度范围的最大值
1.5	$T$	$2T$	$2t$
1.5~10	1.5		
注 1: $T$ 为适用于焊件母材厚度范围; 注 2: $t$ 为试件的每种焊接方法(或焊接工艺)所熔敷的焊缝金属厚度。			

C.3 制备试件

C.3.1 应按焊接工艺要求准备母材、焊接材料,加工坡口和施焊。

C.3.2 试件的坡口型式及其尺寸分别按照 GB/T 985.1 和 GB/T 985.2 规定,试件的尺寸应足够切取所要求试样数量。

C.3.3 对接试件按钛复合钢板结构要求,先作单面焊接,然后作横截面的低倍金相检查,未焊透深度应不大于 0.5 mm。当钛板厚度为 1.5 mm~3 mm 时,焊补上述试板未焊透部分,以制备试样;当钛板厚度大于 3 mm 时,去除未焊透部分(连同试板平面),以制备试样。

C.3.4 若一份焊接工艺规程经过评定,除冲击韧性外各项要求均已满足,当再度要求冲击韧性时,只需按同样的基本因素增加所需要的补加因素,增作一个试件,其尺寸足够切取冲击韧性试样即可。

C.3.5 各类焊接试件焊缝的焊接位置如下所述:

- a) 板材对接焊缝试样的焊接位置见图 C.1;
- b) 板材角焊缝的焊接位置见图 C.2,管板角焊缝的焊接位置见图 C.3;

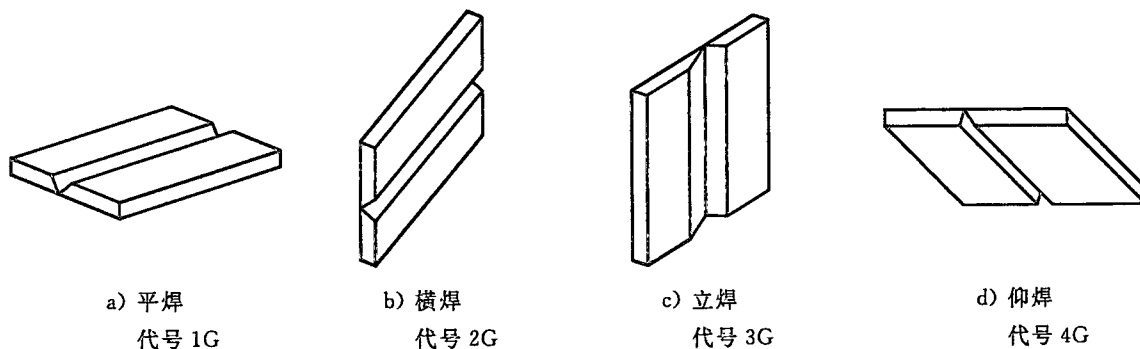


图 C.1 板材对接焊缝的焊接位置

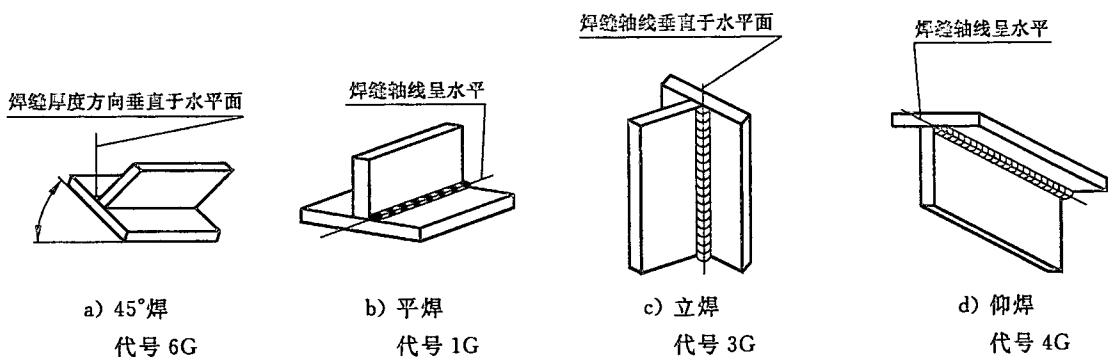


图 C.2 板材角焊缝的焊接位置

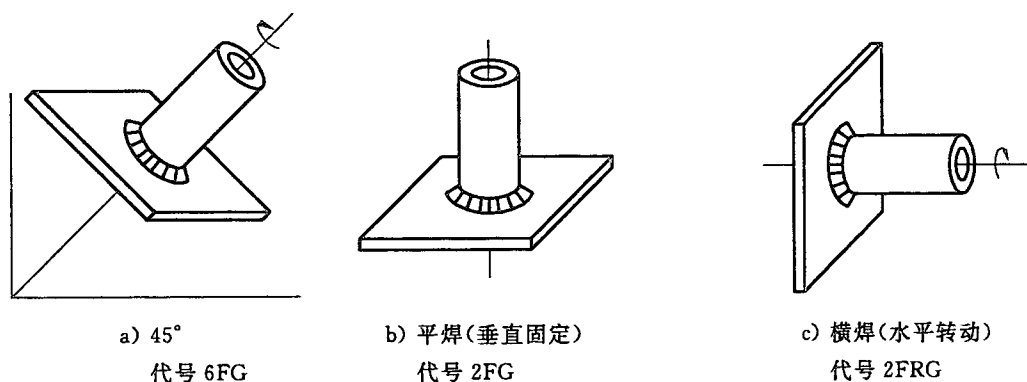
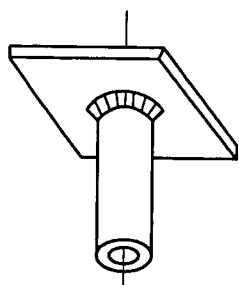
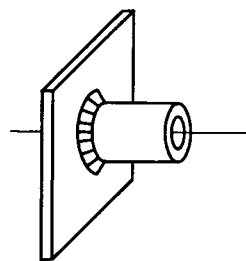


图 C.3 管板角焊缝的焊接位置





d) 仰焊(垂直固定)  
代号 4FG



e) 多位置焊(水平固定)  
代号 5FG

图 C.3 (续)

c) 特殊位置焊接的焊件,可以在此特殊位置下评定,其结果仅对实际焊接的位置有效。

#### C.4 试件的检验

##### C.4.1 各类焊接试件的检验

###### C.4.1.1 对接焊缝试件的检验项目如下:

- a) 外观检查;
- b) 无损检测;
- c) 力学性能:拉伸试验,弯曲(面弯、背弯)试验,硬度试验和冲击韧性试验(当规定时);
- d) 焊缝金属的化学成分分析(当规定时);
- e) 腐蚀试验。

###### C.4.1.2 当同一接头采用一种以上的焊接方法(或焊接工艺)时,则:

- a) 拉伸试样中应包括每一种焊接方法和每一种焊接工艺的焊缝金属;
- b) 弯曲试样的受拉面应包括每一种焊接方法和每一种焊接工艺的焊缝金属;
- c) 当要求作冲击韧性试验时,则对于每一种焊接方法和每一种焊接工艺都应作冲击韧性试验;
- d) 每一种焊接方法和每一种焊接工艺均应进行横向硬度检验。

###### C.4.1.3 角焊缝检验项目如下:

- a) 外观检查;
- b) 渗透检测;
- c) 焊缝金属的化学成分分析(当规定时);
- d) 宏观金相检查;
- e) 腐蚀试验。

##### C.4.2 对接接头试件的检验

###### C.4.2.1 外观检验

对接接头外观检验应符合 7.3.2~7.3.6 的要求。

###### C.4.2.2 无损检测

焊缝按 JB/T 4730.2—2005 进行射线检测,达到 II 级为合格。

###### C.4.2.3 拉伸试验

拉伸试验按 GB/T 2651 规定的方法进行,拉伸试样数量为两根,焊接接头强度不低于母材指标强度的 90% 为合格。

###### C.4.2.4 弯曲试验

弯曲试验按 GB/T 2653 规定的方法进行。弯曲试验仅作横向弯曲。试样数量为面弯两根,背弯两根。合格标准见表 C.3。弯曲后在试样凸面的任一方向上不应有超过 3 mm 长的开裂缺陷。试样的棱角开裂不计,但确因焊接缺陷引起试样棱角开裂的长度应进行评定。

表 C.3 弯曲试验规定

钛及钛合金牌号	轴弯心直径 $D$ / mm	弯曲角	评 定
TA0、TA9	8T	180°	合格
TA2、TA3、TA10	10T		
注：T 为试样厚度。			

#### C.4.2.5 冲击试验

冲击试验试样型式及尺寸应符合 GB/T 2650 的要求。非标准试样的厚度及冲击值合格标准按图样要求或供需双方协商确定。

#### C.4.2.6 焊缝金属化学成分分析

焊缝金属的化学成分分析试样应在熔敷金属上提取。化学成分分析方法按 GB/T 4698(所有部分)规定。合格标准按 GB/T 3620.1、GB/T 8547 确定。

#### C.4.2.7 硬度试验

硬度试验的试样包括焊接接头的各个区域(焊缝金属、母材及热影响区)。硬度试验方法按 GB/T 4340.1 的规定进行。硬度测定部位都在焊接接头的横截面上。厚度在 3 mm 以下的钛板对接接头,允许在试样外部表面上测定。每一区域测定硬度次数应不少于三点。焊缝和热影响区的维氏硬度与母材相比不应大于 HV30。

#### C.4.2.8 腐蚀试验

腐蚀试验的内容、试样及评定标准由设计图样或供需双方协商确定。

### C.4.3 角焊缝试件检验

C.4.3.1 板材角焊缝试件及宏观金相试样见图 C.4。试件的两端各 25 mm 废弃后,将试件作横向五等分切开,五块均为宏观金相试样。

单位为毫米

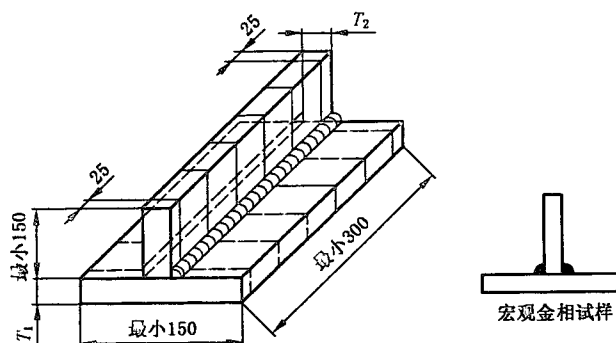


图 C.4 板材角焊缝试件及宏观金相试样

C.4.3.2 管板角焊缝试件见图 C.5。依图示位置取试件的 1/4 作宏观金相试件,焊缝的起始和终止位置应在试样的中部。

C.4.3.3 焊缝外观检查应符合 7.3.2~7.3.6 的要求。

C.4.3.4 渗透检测按 7.4.2 的规定进行。

C.4.3.5 焊缝金属的化学成分分析按 C.4.2.6 的规定进行。

单位为毫米

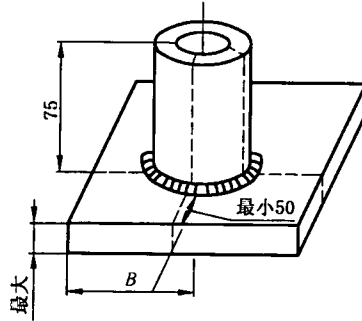


图 C.5 管板角焊缝试件及宏观金相试样

C.4.3.6 宏观金相检查：板材角焊缝、管板角焊缝的金相试样按图 C.4、图 C.5 制取，取试样的一个面作宏观金相检验。焊脚尺寸应符合图样要求，焊缝表面、焊缝金属和热影响区不应有裂纹，焊缝根部应熔合。

C.4.3.7 腐蚀试验按 C.4.2.8 的规定进行。

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
钛及钛合金复合钢板焊接技术要求  
GB/T 13149—2009

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

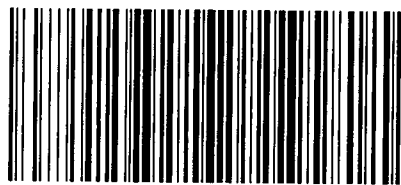
\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 48 千字  
2009年7月第一版 2009年7月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-38033 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68533533



GB/T 13149-2009