

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/ T 2030—2025

钛及钛合金焊接接头质量控制规范

Quality control specification for titanium and titanium alloys welded joints

2025 - 04 - 18 发布

2025 - 05 - 17 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 2

5 人员 2

6 焊接设备及工装 2

7 焊接材料 3

8 焊接工艺 3

9 焊接过程控制 3

10 无损检测 6

11 焊缝返修 8

12 档案管理 8

附录 A （规范性） 原材料要求 9

附录 B （资料性） 菲绕咻试验 10

附录 C （资料性） 铁离子污染试验 11

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。

请注意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。

本文件由陕西省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：陕西省特种设备检验检测研究院、西安交通大学、西安优耐特容器制造有限公司、陕西振华检测科技有限公司、西安成达工业锅炉设备制造有限公司、陕西思盟节能工程科技有限责任公司。

本文件主要起草人：支泽林、姜洪权、张成、高杰、石养鑫、乐坤、杨得焱、马佼佼、周伟、张奎、耿强、谢文强、于润艳、惠胜。

本文件由陕西省特种设备检验检测研究院负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西省特种设备检验检测研究院

电话：029-82214606

地址：西安市咸宁西路30号

邮编：710048

钛及钛合金焊接接头质量控制规范

1 范围

本文件规定了钛及钛合金焊接接头质量控制涉及的人员、焊接设备及工装、焊接材料、焊接工艺、焊接质量控制和无损检测的要求。

本文件适用于工件公称厚度小于等于50 mm钛及钛合金制承压设备焊接接头的质量控制。

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件。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 3620.2 钛及钛合金加工产品化学成分允许偏差
- GB/T 4842 氩
- GB/T 4844 纯氦、高纯氦和超纯氦
- GB/T 31908 电弧焊和等离子焊接、切割用钨电极
- NB/T 11270-2023 钛制压力容器
- NB/T 47013.1-2015 承压设备无损检测 第1部分：通用要求
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- NB/T 47013.7-2012 承压设备无损检测 第7部分：目视检测
- NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测
- NB/T 47014-2023 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47015 压力容器焊接规程
- NB/T 47016 承压设备产品焊接试件的力学性能
- TSG 07 特种设备生产和充装单位许可规则
- TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则
- TSG Z8001 特种设备无损检测人员考核规则

3 术语和定义

NB/T 47013.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无损检测 *nondestructive testing*

在不损坏检测对象的前提下，以物理或化学方法为手段，借助相应的设备器材，按照规定的技术要求，对检测对象的内部及表面的结构、性质或状态进行检查和测试，并对结果进行分析和评价。

[来源: NB/T 47013.1-2015, 3.1]

3.2

焊接接头 welded joint

焊接接头是通过焊接连接的两个或多个工件所形成的结构部分, 包括焊缝、熔合区和热影响区。

3.3

衍射时差法超声检测 time of flight diffraction

衍射时差法超声检测(简称TOFD), 是一种利用超声波衍射现象来进行缺陷检测和测量的技术, 是利用缺陷部位的衍射波信号来检测缺陷并测定缺陷尺寸的一种超声检测方法。

4 基本要求

- 4.1 制造企业应建立所承担任务相适应的焊接质量体系。
- 4.2 承压设备制造企业资源条件应符合 TSG 07 的规定, 且具备有关焊接生产、检测、计量、实验能力。
- 4.3 原材料的控制要求、牌号、入厂检验、标识及质量证书相关内容应符合附录 A 的规定。

5 人员

5.1 焊接操作人员

应经焊接理论和操作培训, 按TSG Z6002考核细则考试合格, 并持有资格的焊工考试机构的有效合格证书。

5.2 焊接检验人员

应具备有色金属焊接接头检验能力。

5.3 无损检测人员

应符合TSG Z8001的规定。

6 焊接设备及工装

6.1 焊接设备

- 6.1.1 钛材焊接的焊接电源应符合相应焊接方法的规定, 设备完好, 仪器仪表在校验期内。
- 6.1.2 焊枪结构应符合相应技术规定, 焊枪瓷嘴应根据被焊钛材厚度及接头形式选择。
- 6.1.3 气体保护焊用的保护气输气系统的输送管宜采用尼龙管。

6.2 保护工装

6.2.1 在大气环境下焊接钛材时, 应采用焊枪和工装对焊缝及热影响区温度高于 400℃的区域采用惰性气体进行保护。保护方式包括但不限于:

- a) 将焊件整体放入真空或充满惰性气体的密闭室内施焊;
- b) 使用惰性气体保护罩或其他隔离空气的材料, 在合适的保护下施焊。

- 6.2.2 惰性气体保护罩的形式应根据焊缝形状、焊件厚度、冷却方式、焊接热输入等因素确定。
- 6.2.3 采用留有保护凹槽或通气孔的铜垫通惰性气体保护。无法采用时，用铝箔或耐高温胶带等进行惰性气体保护。
- 6.2.4 施焊前应完成相应焊接保护工装的制作，并经工艺验证。

7 焊接材料

7.1 焊丝和填充丝

- 7.1.1 质量应符合 NB/T 11270-2023 中 5.6.1 的规定。选用应按照 NB/T 11270-2023 中附录 B 中表 B.1 的规定执行。
- 7.1.2 表面应光滑，无毛刺、凹陷、划痕、氧化皮、折叠和影响焊接过程、焊接操作及焊缝金属性能的外来物质。
- 7.1.3 应按炉号制备熔敷金属试样复验化学成分和力学性能，并符合 NB/T 11270-2023 中 5.6.1 和附录 C 的要求。
- 7.1.4 不同牌号钛材相焊时，按耐蚀性能较好和强度级别较低的母材选择焊丝和填充丝，或按设计文件规定选择。
- 7.1.5 不应裁割焊件母材充当焊丝或填充丝。
- 7.1.6 贮存环境相对湿度不应大于 60% RH。
- 7.1.7 在正常焊接工艺下，应能保证焊接接头的抗拉强度不低于母材规定的限值，需要时，其他性能也不应低于母材相应的要求。

7.2 焊接保护气体

- 7.2.1 焊接钛材可使用纯氩气、纯氮气或以氩气为主的混合气体保护。选用的氩气应符合 GB/T 4842 中纯氩的要求，露点不得高于-50℃，选用的氮气应符合 GB/T 4844 中纯氮的要求，露点不得高于-50℃。
- 7.2.2 使用瓶装气体保护时，当瓶内压力低于 0.5 MPa 时应停止使用。

7.3 电极

- 7.3.1 钨极气体保护焊、等离子弧焊的非熔化电极有纯钨极、钍钨极、铈钨极、钇钨极、锆钨极和铈钨极等，推荐选用铈钨极，也可根据使用条件选用合适的焊接电极。钨电极应符合 GB/T 31908 的规定。
- 7.3.2 非熔化极的电极尺寸及形状应根据焊件规格、焊接深度、电源极性和焊接电流大小进行选用，常见非熔化电极许用电流范围应符合 NB/T 11270-2023 中附录 B 中 B.2 的规定。

8 焊接工艺

- 8.1 采用非熔化极惰性气体保护焊、熔化极惰性气体保护焊、惰性气体保护等离子弧焊、惰性气体保护电子束焊等焊接方法。
- 8.2 受压元件焊缝、定位焊缝、受压元件与非受压元件之间焊接焊缝的焊接工艺应按 NB/T 47014 的规定评定合格。
- 8.3 焊接工艺评定技术档案应保存至该工艺评定失效为止，焊接工艺评定试样保存期不少于 5 年。
- 8.4 承压焊接接头的焊接工艺规程应符合 NB/T 11270-2023 中附录 B 的要求。

9 焊接过程控制

9.1 焊前检验

9.1.1 焊接环境检验

在施焊前对焊接环境进行检验，宜采用菲绕琳试验，方法见附录B。

9.1.2 坡口检验

9.1.2.1 表面质量

焊件坡口表面应无裂纹、分层、夹杂或影响焊接质量的划痕。观察细小缺陷时，可采用2 倍～10 倍放大镜目视检测或渗透检测。

9.1.2.2 几何尺寸

采用焊缝检验尺、游标卡尺、焊缝检测样板等检验工具，对焊接坡口形式、坡口角度、钝边尺寸进行检验。

9.1.3 表面清洁度

对坡口及其两侧25 mm范围内区域进行清洁度检验，应无油污等杂质，或其他影响焊接质量的附着污染物，必要时该区域做铁离子污染试验，方法见附录C。

9.2 组对检验

9.2.1 零部件组对后应对其方位、错边量、组对间隙、定位焊点的位置、长度、距离等进行检查确认。

9.2.2 对于不予以去除并融入永久焊缝的定位焊焊缝，其表面颜色及外观缺陷，应与焊后检验验收要求保持一致，且定位焊焊缝两端应圆滑过渡。

9.3 焊接过程检验

9.3.1 打底焊缝

打底焊缝焊接完成后，应对背部成型情况及尺寸检验，焊缝背部成型均匀，且无裂纹、未熔合、未焊透、气孔、弧坑等外观缺陷及无氧化色等。焊缝表面颜色应符合表1规定。

9.3.2 填充层焊缝

各层（道）焊缝表面应无氧化色，无裂纹、未熔合、未焊透、气孔、弧坑等其它外观目视可见缺陷。观察细小缺陷时，可采用2 倍～10 倍放大镜目视检测或渗透检测。

9.4 焊后检验

9.4.1 表面质量

9.4.1.1 在焊接完成后应对焊缝和热影响区进行表面颜色检验，并按表 1 的规定判定和处理。

表 1 焊缝和热影响区表面颜色的判定

序号	表面颜色	保护情况	合格判定	处理方法
1	银白色	良好	合格	不用其他处理
2	金黄色（致密）	尚好	合格	可不用处理

表 1 焊缝和热影响区表面颜色的判定（续）

序号	表面颜色	保护情况	合格判定	处理方法
3	蓝色	稍差	只可用于非重要部位	去除蓝色
4	紫色	较差	不合格	去除紫色，去不掉时应返修
5	灰色	差	不合格	返修
6	暗灰色	差	不合格	返修
7	灰白色	很差	不合格	返修
8	黄色粉状物（拍照片）	很差	不合格	返修

9.4.1.2 焊缝表面不应有裂纹、未熔合、未焊透、未填满、咬边、气孔、弧坑和夹杂飞溅物等影响质量的缺陷。观察细小缺陷时，可采用 2 倍~10 倍放大镜目视检测或渗透检测。

9.4.2 几何尺寸

9.4.2.1 A、B 类接头焊缝

9.4.2.1.1 焊缝内外表面余高按表 2 和图 1 的规定。

表 2 A、B 类焊接接头的焊缝余高合格指标

单位为毫米

坡口形式	单面坡口		双面坡口	
余高	e_1	e_2	e_1	e_2
允许余高值	$0\sim 15\% \delta_n$ ，且 ≤ 4	≤ 1.5	$0\sim 15\% \delta_1$ ，且 ≤ 3	$0\sim 15\% \delta_2$ ，且 ≤ 3
注：表中百分数计算值小于 1.5 mm时按 1.5 mm计。				

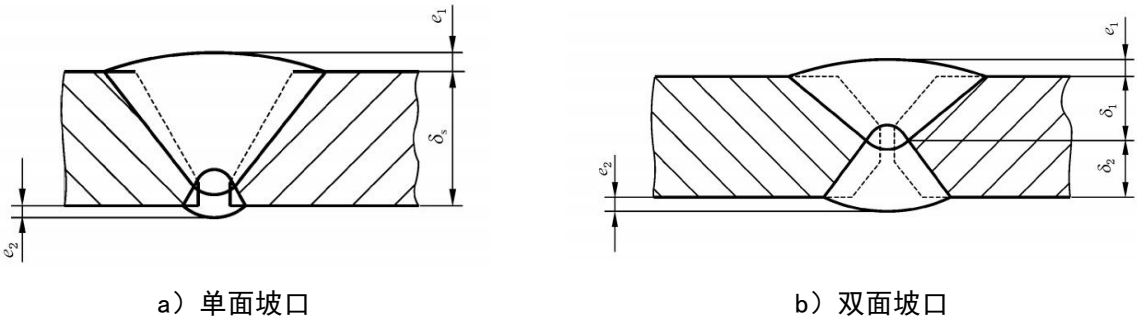


图 1 对接接头的焊缝余高

9.4.2.1.2 焊缝错边量 b 应符合表 3 和图 2 的规定。

表 3 A、B 类焊接接头的对口错边量

单位为毫米

对口处钛板厚度 δ_n	A 类焊接头 (纵向焊缝)	B 类焊接头 (环向焊缝)
≤ 12	$\leq 1/5 \delta_n$	$\leq 1/5 \delta_n$
$> 12 \sim \leq 20$	≤ 2.4	$\leq 1/5 \delta_n$

表 3 A、B 类焊接接头的对口错边量 (续)

单位为毫米

对口处钛板厚度 δ_n	A 类焊接头 (纵向焊缝)	B 类焊接头 (环向焊缝)
$> 20 \sim \leq 40$	≤ 2.4	$\leq 1/5 \delta_n$, 且 ≤ 5
$> 40 \sim \leq 50$	≤ 2.4	$\leq 1/8 \delta_n$, 且 ≤ 6
> 50	≤ 2.4	≤ 6
注：注： δ_n 为最薄部件厚度。		



图 2 A、B 类焊接接头对口错边量

9.4.2.2 C、D 类接头焊缝

焊缝厚度 t ，在图样上无其他规定时，应小于组成角焊缝两构件厚度 δ_1 、 δ_2 较小值的0.7 倍，且不小于3mm，焊缝与母材应呈圆滑过渡，见图3。

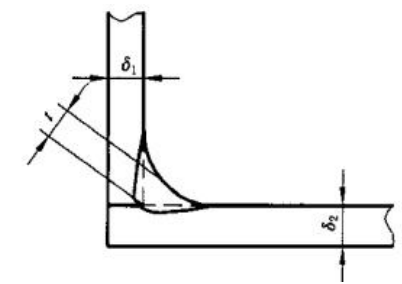


图 3 角焊缝的厚度 t

9.4.2.3 焊缝宽度

焊缝宽度应均匀一致，其最大宽窄差不宜超过1.5 mm。

10 无损检测

10.1 一般要求

10.1.1 焊接接头检测方法包括：目视，渗透，射线及 TOFD 检测。检测方法根据技术文件的要求，选择一种或多种方法组合检测。

10.1.2 对使用工况恶劣或受交变载荷的焊接接头，应采用射线和 TOFD 组合检测。

10.2 目视检测

10.2.1 焊接接头外观质量采用目视检测，对因结构限制等原因，无法进行直接目视检测的，可借助于视频内窥镜、反光镜或其他合适的仪器等辅助设备，进行间接目视检测。

10.2.2 检测照明条件，应符合 NB/T 47013.7-2012 中 5.2.3 的规定。

10.3 渗透检测

- 10.3.1 检测工作准备范围，应至少为焊缝两侧各 25 mm 区域。
- 10.3.2 所有焊接接头，经形状尺寸及外观检查合格后，才能进行渗透检测。
- 10.3.3 焊接接头渗透检测，一般宜采用着色渗透检测方法，而对于检测灵敏度要求较高的焊接接头，应采用荧光渗透检测方法。
- 10.3.4 所使用渗透检测剂中的氯、氟元素含量，应符合 NB/T 47013.5 的规定。
- 10.3.5 结果评定应按 NB/T 47013.5 的规定执行，检测灵敏度等级及验收合格级别符合技术文件要求，验收级别一般不低于 I 级。

10.4 射线检测

- 10.4.1 检测区域，应为焊缝本身及焊缝两侧各至少 5 mm 范围区域。
- 10.4.2 所有焊接接头，经形状尺寸及外观检查合格后，才能进行射线检测。
- 10.4.3 射线检测胶片，一般宜采用 C5 类胶片进行检测；而对于厚度较小或检测灵敏度要求较高的焊接接头，应采用 C4 类或更高类胶片进行检测。
- 10.4.4 射线检测设备，一般应采用 $d \leq 2.0$ mm 的小焦点，输出管电压小于等于 250 kV 的 X 射线机。
- 10.4.5 结果评定应按 NB/T 47013.2 的规定执行，检测技术等级及验收合格级别符合技术文件要求，验收级别一般不低于 III 级。

10.5 TOFD 检测

- 10.5.1 采用的标准试块包括 CSK-IA (TA) 和 DB-P Z20-2 (TA) 试块。
- 10.5.2 对比试块可采用无焊缝的板材、管材或锻件，也可采用焊接件；其声学性能应与工件相同或相似，外形尺寸应能代表工件的特征和满足扫查装置的扫查要求；对比试块中的反射体采用机加工方式。
- 10.5.3 检测区域，应为焊缝本身及焊缝两侧各至少 5 mm 范围区域。
- 10.5.4 探头选取包括探头形式、参数的选择。一般选择宽角度纵波斜探头，对于每一组探头对的两个探头，其标称频率应相同，声束角度和晶片直径应相同。
- 10.5.5 宜将探头中心间距设置为使该探头对的声束交点位于 $2/3 t$ 深度处。
- 10.5.6 检测工件底面的探头声束与底面检测区域边界处法线间的夹角一般不应小于 40° 。
- 10.5.7 与平板工件或较大曲率工件厚度有关的探头选取和设置见表 4。

表 4 平板对接接头的探头推荐性选择和设置

工件厚度， mm	标称频率， MHz	声束角度 α ， °	晶片直径， mm
$\geq 12 \sim 15$	10~7	75~60	3~5
$> 15 \sim 35$	10~5	70~60	3~5
$> 35 \sim 50$	7~5	70~55	3~6

- 10.5.8 若知缺陷的大致位置或仅检测可能产生缺陷的部位，可选择相匹配的聚焦探头等探头型式或频率、晶片直径等探头参数，将探头中心间距设置为使探头对的声束交点为缺陷部位或可能产生缺陷的部位，且声束角度 α 为 $55^\circ \sim 65^\circ$ 。
- 10.5.9 结果评定应按 NB/T 47013.10 的规定执行，检测技术等级及验收合格级别符合技术文件要求，验收级别一般不低于 II 级。

10.6 组合检测

10.6.1 组合检测包括射线检测与 TOFD 检测的组合，目视检测与射线检测方法之间的组合，以及射线检测或超声检测与渗透检测的组合等。

10.6.2 对使用工况恶劣或受交变载荷的焊接接头，应采用射线和 TOFD 组合检测。

10.6.3 当设计文件另有规定时，应按规定进行组合检测。

11 焊缝返修

11.1 当检测发现超标缺陷需要返修时，应分析原因，制定合理的返修方案，依据合格的焊接工艺评定编制焊接工艺。

11.2 超标缺陷应采用机械方法去除，并选用适当的检测方法确认。去除缺陷部位应修成适于焊接的坡口，且与相邻母材圆滑过渡。

11.3 焊接返修应由有资质的焊工严格按照焊接工艺施焊。

11.4 焊缝同一部位的返修次数不应超过 2 次，并将返修次数、部位和返修情况应记入产品质量档案资料中。

11.5 返修焊的检测及其性能和质量要求应与原焊缝一致。

12 档案管理

12.1 档案内容与管理要求

12.1.1 应建立文件档案管理制度，归档内容包括但不限于：

- a) 母材、焊材质量证明书及复检报告；
- b) 焊接工艺规程；
- c) 焊接工艺评定报告；
- d) 焊接生产记录；
- e) 无损检测记录及报告；
- f) 焊工编号分布图；
- g) 焊接返修记录；
- h) 检验、试验记录及报告。

12.1.2 文件档案保存期限不低于设备设计使用年限。

附 录 A
(规范性)
原材料要求

A.1 基本要求

- A.1.1 钛及钛合金焊接接头的母材应符合设计文件及本文件的规定。
- A.1.2 钛材的化学成分、力学性能、物理性能、工艺性能能够满足制造与使用的要求。
- A.1.3 本文件规定的钛材牌号为TA0、TA1、TA1G、TA2、TA2G、TA3、TA3G、TA8、TA8-1、TA9、TA9-1、TA10，其化学成分应分别符合GB/T 3620.1的规定。
- A.1.4 所用钛材均为退火状态。

A.2 钛板

- A.2.1 钛板材应符合GB/T 3621的规定。
- A.2.2 对于厚度超过 20 mm的钛板制造受压元件或受较大交变载荷的结构件时，应按GB/T 5193的规定逐张进行超声检测，并符合A级要求。

A.3 钛管

换热钛管应符合GB/T 3625的规定，非换热钛管应符合GB/T 3624的规定。

A.4 钛锻件

- A.4.1 钛锻件应符合GB/T 16598的规定。
- A.4.2 制造受压元件或受交变载荷构件用钛锻件，应按NB /T 47013.5进行100%表面检测， I 级合格。

A.5 钛棒

- A.5.1 钛棒应符合GB/T 2965的规定。
- A.5.2 制造受压元件或受交变载荷构件用钛棒，应按NB /T 47013.5进行100%表面检测， I 级合格。

附 录 B
（资料性）
菲绕啉试验

B.1 试验人员

B.1.1 操作（试验）人员及检验人员应经过技术培训。

B.1.2 检验人员未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），测试方法应符合相关标准的规定，且应每年检查一次。

B.1.3 操作（试验）人员及检验人员不得有色盲、色弱。

B.2 试验溶液配置

B.2.1 溶解 272 g 含水醋酸钠（ $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）于 500 ml 热蒸馏水中，加 240 ml 冰醋酸，然后以蒸馏水稀释至 1000 ml。

B.2.2 溶解 3.5 g 盐酸胺（ $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ）于 350 ml 蒸馏水中。

B.2.3 溶解 2.5 g 的 1:10 菲绕啉水化物于约 200 ml 的热蒸馏水中并稀释至 300 ml。

B.2.4 将上述三种溶液混合成 1650 ml 混合液，可在有塞的瓶中稳定保存 2 个月～3 个月。

B.3 检测

用滤纸吸取溶液贴置于玻璃片上，并在要检测的环境中至少分散放置 20 个点，应保证滤纸与玻璃贴紧，经过一定时间后，观察滤纸颜色变化情况。

B.4 试验结果判断

经放置约 8 小时后，如果仅有 1 个或 2 个点的试纸被铁污染出现橘红色变色，说明此范围的环境适于进行钛及钛合金设备的焊接及组装。如果被污染的试纸数量超出 2 个，则应对此环境进行进一步清理，焊接前要达到要求的测试结果。每一次的检测试纸都应保留，以使用作参考。

B.5 记录及报告

B.5.1 “菲绕啉”试验后试验者及检验员应认真如实填写试验原始记录并签字，试验结果归入产品质量档案中。

B.5.2 试验记录及报告内容至少包括：试验场所、试验时间、试验部位、试验结果、试验照片、操作人员、检验人员及日期。

附 录 C
(资料性)
铁离子污染试验

C.1 人员

- C.1.1 操作(试验)人员及检验人员应经过技术培训。
- C.1.2 检验人员未经矫正或经矫正的近(距)视力和远(距)视力应不低于5.0(小数记录值为1.0),测试方法应符合相关标准的规定,且应每年检查一次。
- C.1.3 操作(试验)人员及检验人员不得有色盲及色弱。

C.2 试验溶液配置

- C.2.1 将7 g铁氰化钾、浓度65%的4.5 ml硝酸溶解在214 mL的蒸馏水中。
- C.2.2 溶液配置后应立即使用,防止试剂污染。

C.3 检测

C.3.1 清理

- C.3.1.1 采用不含铁离子的尼龙掺和氧化铝的砂轮打磨或抛光轮抛光清理设备表面的铁离子污染;
- C.3.1.2 采用清洗剂对设备表面进行清洗,再用去离子水冲洗清理设备表面铁污染。

C.3.2 检测时机

- C.3.2.1 钛零部件组焊前,对焊接区域50 mm范围内,按长度方向等分 3 个区域,每个区域贴1处专用滤纸进行铁离子污染检测。
- C.3.2.2 容器合拢之前,容器内表面经表面处理后对每间隔300 mm区域贴1处专用滤纸进行铁离子污染检测。
- C.3.2.3 容器组焊完成经表面处理后,外表面每间隔300 mm区域贴1处专用滤纸进行铁离子污染检测。

C.3.3 检测实施

用含有试验溶液的专用滤纸贴在被检区域表面,确保滤纸与被接触表面接触良好,经过数分钟后,观察滤纸颜色变化情况。

C.4 试验结果判断

- C.4.1 检测滤纸颜色无明显变化,判断该区域无铁离子污染,试验合格。
- C.4.2 检测滤纸变蓝说明有铁离子污染,应用去离子水冲洗后再进行试验,直至检测合格为止。

C.5 记录及报告

C.5.1 “铁离子污染”试验后试验者及检验员应认真如实填写试验原始记录并签字，试验结果归入产品质量档案中。

C.5.2 试验记录及报告内容至少包括：产品名称、产品编号、试验时间、试验部位、试验照片、试验结果、操作人员、检验人员及日期。
