

T/CAMT

团 体 标 准

T/CAMT 69—2026

钛及钛合金焊接通用技术规范

General technical specification for welding of titanium and titanium-alloy

2026-05-27 发布

2026-06-30 实施

中国金属材料流通协会 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 一般要求 1

 4.1 母材焊接材料 2

 4.2 焊接设备 2

 4.3 焊工资格 2

 4.4 焊接环境 2

5 焊接准备 2

 5.1 焊材及母材清理 2

 5.2 坡口与装配 2

 5.3 工装夹具 2

 5.4 焊接工艺评定 2

6 焊接工艺 3

 6.1 钨极氩弧焊（TIG） 3

 6.2 熔化极氩弧焊（MIG） 3

 6.3 等离子弧焊 3

 6.4 光纤激光焊 3

 6.5 通用工艺控制 3

7 焊接质量检验 3

 7.1 外观检查 3

 7.2 无损检测 3

 7.3 力学性能试验 3

 7.4 记录要求 3

8 缺陷返修 4

9 焊接安全与环境保护 4

10 焊接过程文件管理 4

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。

本文件由成都韵弘科技有限公司提出。

本文件由中国金属材料流通协会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：成都韵弘科技有限公司、成都先进金属材料产业技术研究院股份有限公司、沈阳工业大学、沈阳博睿智行科技服务有限公司、途邦认证有限公司。

本文件主要起草人：彭泽友、冯兆龙、苏允海、王泽龙、刘正林、邓宇寒、李星豪、韦先海、成伟伟、周明爱。

本文件首次发布。



钛及钛合金焊接通用技术规范

1 范围

本文件规定了钛及钛合金焊接的一般要求、焊接准备、焊接工艺、焊接质量检验、缺陷返修、焊接安全与环境保护、焊接过程文件管理等内容。

本文件适用于钛及钛合金钨极氩弧焊（TIG）、熔化极氩弧焊（MIG）、等离子弧焊及光纤激光焊；钛基复合材料焊接可参照本文件执行。本文件不适用于钛及钛合金的电阻焊、钎焊、电子束焊、摩擦焊、爆炸焊。

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 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- 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 5193 钛及钛合金加工产品超声检验方法
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 13149 钛及钛合金复合钢板焊接技术要求
- GB 15603 大气污染物综合排放标准
- GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则
- GB/T 36234 钛及钛合金、锆及锆合金熔化焊焊工技能评定
- GB/T 40801—2021 钛、锆及其合金的焊接工艺评定试验
- HB/Z 61 渗透检验
- HB/Z 120—2011 钛合金钨极氩弧焊工艺及质量检验
- HB/Z 20017 钛及钛合金激光焊接工艺
- NB/T 47014—2023 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47018.7 承压设备用焊接材料订货技术条件 第7部分：钛及钛合金焊丝和填充丝

3 术语和定义

GB/T 19866、GB/T 40801—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高温保护区 high-temperature protection zone

钛合金400℃以上易吸气氧化区域，包含焊缝、熔合线、两侧热影响区。

3.2

层间清理 interlayer cleaning

多层焊每道焊后去除表面氧化色、杂质再施焊。

3.3

拖罩 drag shield

焊缝尾部随焊移动的氩气后置保护装置。

4 一般要求

4.1 母材焊接材料

- 4.1.1 钛及钛合金母材化学成分、力学性能应符合 GB/T 3620.1、GB/T 3620.2。
- 4.1.2 填充焊丝选用同牌号匹配焊丝，异种钛合金焊接采用强度较低一侧母材匹配焊丝，焊丝应符合 NB/T 47018.7。
- 4.1.3 保护气体应选用高纯氩气，氩气纯度 $\geq 99.999\%$ ，氧含量 ≤ 10 ppm，氮含量 ≤ 15 ppm，露点 ≤ -50 °C；不应使用普氩。
- 4.1.4 焊材按炉批号入库、分区存放，贮存环境温度 5 °C $\sim$ 30 °C，相对湿度 $\leq 60\%$ ，焊丝盘密封防潮。受潮焊丝 120 °C $\sim$ 150 °C 烘干 30 min 使用。

4.2 焊接设备

- 4.2.1 TIG/MIG 焊机具备恒流/恒压输出、电流电压稳控、脉冲调节功能，热输入可调可控。
- 4.2.2 气路配置双级减压阀、浮子流量计、单向阀，无漏气；应配置正面焊枪保护、背面通氩保护、尾部拖罩保护三位一体供气结构。
- 4.2.3 激光焊机配套同轴氩气保护+侧向氩气保护装置，具备防风腔体优先。
- 4.2.4 等离子焊机配备离子气、保护气独立供气调节系统。

4.3 焊工资格

- 4.3.1 焊工应按照 GB/T 36234 考核取证，持证项目包含对应焊接方法、母材牌号、厚度、焊接位置。
- 4.3.2 中断钛焊作业 6 个月以上，应复试合格方可上岗。

4.4 焊接环境

- 4.4.1 室内洁净作业，粉尘、油污、锈蚀环境禁止施焊；焊接区域独立隔断。
- 4.4.2 环境温度 10 °C $\sim$ 35 °C，相对湿度 $\leq 60\%$ 。
- 4.4.3 作业区域风速：TIG/MIG/等离子 < 1.5 m/s；激光焊 < 0.5 m/s，全程密闭防风。
- 4.4.4 现场禁止扬尘、水汽、碳氢挥发物。

5 焊接准备

5.1 焊材及母材清理

- 5.1.1 焊接坡口及两侧各 ≥ 25 mm 范围应进行清理，去除氧化皮、油污、水渍、涂层、粉尘、手印。
- 5.1.2 机械清理：使用不锈钢丝刷、细砂纸打磨至金属银亮色，禁止碳钢工具打磨。打磨后用毛刷清理碎屑。
- 5.1.3 化学清理步骤如下。
 - a) 氢氟酸-硝酸酸洗法：5% $\sim$ 10%HF+HNO₃混合溶液常温浸泡 1 min $\sim$ 3 min，清水充分冲洗，60 °C $\sim$ 80 °C 烘干。
 - b) 溶剂擦拭：无尘棉布蘸丙酮/无水乙醇往复擦拭 2 遍 $\sim$ 3 遍，单向擦拭，不应来回反复涂抹，不应使用裸手触碰清理区域。
- 5.1.4 清理完成 4 h 内施焊，超时应重新清理。焊丝使用前整盘擦拭去油。

5.2 坡口与装配

- 5.2.1 坡口形式根据板厚确定：薄板 I 型坡口；3 mm 以上 V 型/U 型坡口，坡口面光滑无毛刺。
- 5.2.2 装配间隙均匀，错边量 $\leq$ 板厚 10%，且 ≤ 1 mm；定位点焊采用同工艺氩气完整保护。
- 5.2.3 碳钢、铜、铅等异种金属不应直接接触工件。

5.3 工装夹具

- 5.3.1 应采用纯钛或 316L 不锈钢材质夹具，避免与工件产生异种金属污染。
- 5.3.2 薄壁件采用刚性工装控制焊接变形；筒体、箱体类优先设置背面通气腔体。

5.4 焊接工艺评定

正式施焊前按GB/T 40801—2021完成PQR评定，编制WPS焊接工艺规程；承压设备同时满足NB/T 47014—2023。

6 焊接工艺

6.1 钨极氩弧焊（TIG）

- 6.1.1 采用钨钨极，直流正接，钨极伸出长度 5 mm~8 mm。
- 6.1.2 全程正面、背面、拖罩三重氩气保护，严格遵循 HB/Z 120—2011。
- 6.1.3 薄板单层焊；板厚 ≥ 6 mm 采用多层多道。

6.2 熔化极氩弧焊（MIG）

- 6.2.1 直流反接，优先脉冲 MIG，厚板采用射流过渡，严控飞溅。
- 6.2.2 适用于 4 mm 以上中厚钛合金焊接，参数参照 GB/T 40801—2021。

6.3 等离子弧焊

- 6.3.1 微束等离子适用 0.5 mm~2.4 mm 薄板，穿透等离子适用 3 mm~10 mm 中板。
- 6.3.2 离子气、保护气独立配比，背面全程通气保护。

6.4 光纤激光焊

- 6.4.1 优先光纤激光，严格密闭防风，同轴氩气+侧吹氩气+背面氩气保护。
- 6.4.2 焊接速度稳定，严控热输入，抑制气孔、氧化、晶粒粗大，执行 HB/Z 20017。

6.5 通用工艺控制

- 6.5.1 引弧仅在坡口内或者引弧板上进行，严禁母材非焊接区域引弧。
- 6.5.2 接头搭接重叠 5 mm~10 mm，收弧填满弧坑。
- 6.5.3 焊接应全程连续供气。熄弧后正面、拖罩、背面持续送气不少于 45 s，直至焊缝温度降至 200 ℃ 以下。
- 6.5.4 多层多道焊：每焊完一道，冷却至层间温度 ≤ 80 ℃方可下道施焊；层间应清理氧化色。
- 6.5.5 焊接线能量按 WPS 严格控制，避免过热导致晶粒粗大、塑性下降。
- 6.5.6 低温环境施焊（低于 10 ℃）工件预热至 50 ℃~80 ℃。

7 焊接质量检验

7.1 外观检查

- 7.1.1 焊缝颜色判定：银白色、淡黄色合格；深蓝色局部可允许；灰、黑色判定氧化不合格。
- 7.1.2 焊缝无裂纹、气孔、夹渣、咬边、未熔合、未焊透、弧坑缺陷。
- 7.1.3 焊缝余高 0 mm~3 mm，宽窄均匀，错边量 $\leq$ 板厚 10%。
- 7.1.4 目视检查执行 GB/T 13149。

7.2 无损检测

- 7.2.1 表面检测：重要构件 100%荧光渗透检测（HB/Z 61）。
- 7.2.2 内部缺陷：承压、受力关键接头 100%RT 射线检测（GB/T 3323.1），合格等级不低于 I 级。
- 7.2.3 厚板接头增加 UT 超声波检测（GB/T 5193）。

7.3 力学性能试验

- 7.3.1 拉伸试验：接头抗拉强度 $\geq$ 母材标准值 92%。
- 7.3.2 弯曲试验：弯芯直径按母材标准执行，弯曲外侧 > 3 mm 裂纹或无裂纹。
- 7.3.3 冲击试验：低温工况、动载构件必做，指标由技术协议确定。

7.4 记录要求

所有检验留存原始记录、检测报告、影像资料，归档保存。

8 缺陷返修

- 8.1 返修前依据 NB/T 47014—2023 开展返修工艺评定，明确返修工艺参数。
- 8.2 采用机械打磨去除缺陷，打磨区域圆滑过渡，打磨后重新清理再施焊。
- 8.3 同一位置返修次数不得超过 2 次，超次数需技术评审审批。
- 8.4 返修焊缝 100%无损复检。

9 焊接安全与环境保护

- 9.1 作业人员佩戴氩弧焊专用面罩、阻燃工作服、防烫手套、防尘口罩。
- 9.2 工位设置强制排风除尘装置，控制臭氧、金属烟尘浓度。
- 9.3 酸洗废液经碱中和，pH 达标后按 GB 8978 排放；废渣分类回收。
- 9.4 焊接废气管控符合 GB 15603。
- 9.5 气瓶固定放置，远离热源，严禁暴晒、撞击。

10 焊接过程文件管理

- 10.1 焊接前留存：母材质保书、焊丝质保书、焊工资质、WPS、PQR。
- 10.2 施焊记录：焊接日期、焊工号、环境条件、参数、保护气体批号。
- 10.3 全部资料随产品终身归档，满足质量标准、供方审核追溯要求。

中华人民共和国
团体标准
钛及钛合金焊接通用技术规范
T/CAMT 69—2026

*

中国金属材料流通协会
网址 www.cumetal.org.cn
中国金属材料流通协会标准化工作委员会
网址 www.cumetal.org.cn

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 3.3 千字
2026 年 6 月第一版 2026 年 6 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国金属材料流通协会调换
版权专有 侵权必究
举报电话:010-59231580



T/CAMT 69—2026