

团 体 标 准

T/HNNMIA XX—2023

3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊技术规范

Technical Specification for Brazing of 3003 Aluminum Alloy
and TC4 Titanium Alloy

2023-XX-XX 发布

2023-3-XX 实施

河南省有色金属行业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 基本要求	3
5 钎焊材料	4
6 钎焊设备与工装	4
7 钎焊工艺过程	5
8 质量要求	6
9 检验	7
附 录 A （资料性） 3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊推荐用钎料	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。

本文件中附录A为资料性附录。

本文件由郑州机械研究所有限公司提出。

本文件由河南省有色金属行业协会归口。

本文件起草单位：郑州机械研究所有限公司、江苏科技大学、中国机械总院集团宁波智能机床研究院有限公司、哈尔滨焊接研究所有限公司、中航西安飞机工业集团股份有限公司。

本文件主要起草人：龙伟民、钟素娟、董显、黄俊兰、浦娟、吕晓春、陈素明、郭艳红、王博、李云月、王朋旭、董博文、刘德运、赵明远。

3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊技术规范

1 范围

本文件适用于盾构机刮刀的感应钎焊工艺与质量控制。本文件规定了 3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊技术的基本要求、钎料、钎剂、钎焊设备与工装、钎焊工艺过程、质量要求与检验等内容。

本文件适用于 3003 铝合金与 TC4 钛合金的气保护感应钎焊和真空钎焊工艺过程。

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 3880	一般工业用铝及铝合金板、带材
GB/T 11345	焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
GB/T 11363	钎焊接头强度试验方法
GB/T 33148	钎焊术语
JB/T 6966	钎缝外观质量评定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

气保护感应钎焊 Gas shielded Induction brazing

在惰性气体保护条件下，利用感应电流对工件进行加热，使钎料熔化、润湿、铺展、填缝，实现工件连接的焊接方法。

4 基本要求

4.1 人员

- 4.1.1 操作人员需经钎焊技术培训、考核，取得上岗资质。
- 4.1.2 实施钎焊前熟悉工件图纸、工艺文件及技术规范。
- 4.1.3 掌握钎焊设备、仪器操作方法。
- 4.1.4 按照工艺要求进行操作，并填写工艺记录。

4.2 环境

- 4.2.1 工作场所整洁有序、照明良好。
- 4.2.2 工作台面干净，物料摆放整齐。
- 4.2.3 钎焊厂房设有通风装置、防火防爆措施。

4.3 安全

- 4.3.1 设备电源应可靠接地，定期对设备水、电、气进行安全检查。
- 4.3.2 设备在检定合格期内，按使用说明书及安全操作规程使用。
- 4.3.3 易燃易爆品的管理应遵守工厂技术安全的有关规定。

5 钎焊材料

5.1 母材

3003铝合金符合GB/T 3880的规定，TC4钛合金符合GB/T 3620.1的规定。

5.2 钎料

5.2.1 钎料形态包括丝、棒、箔、膏、颗粒及预成型等。推荐选用箔状钎料。

5.2.2 3003铝合金与TC4钛合金气保护感应钎焊推荐使用钎料有Al-Si系钎料和Al-Si-Cu-Zn系钎料，真空钎焊时推荐使用Al-Si系钎料，详见附录A。

5.3 钎剂

5.3.1 钎剂形态为粉状或膏状。

5.3.2 推荐选用铝钎剂QJ201、QJ202、QJ206、QJ207中的一种，见表1。

表1 3003铝合金与TC4钛合金钎焊推荐用钎剂

牌号	名称	化学成分/%	熔点/ °C	钎焊温度/ °C	特点及用途
QJ201	铝钎焊钎剂	LiCl 24~35、KCl 47~51、ZnCl ₂ 6~10、NaF 9~11	420	450~620	适用在450~620℃温度范围，是一种应用较广的铝钎剂，工件须预热至550℃左右
QJ202	铝钎剂	LiCl 40~44、KCl 26~30、ZnCl ₂ 19~24、NaF 5~7	350	420~620	能有效地去除Al氧化膜，可用于钎焊铝及铝合金，工件须预热至450℃左右。
QJ206	高温铝钎剂	LiCl 31~26、KCl 31~33、ZnCl ₂ 7~9、SrCl ₂ 25、LiF 10	540	550~620	高温铝钎焊钎剂，适用于感应钎焊铝及铝合金，工件须预热至550℃左右。
QJ207	高温铝钎剂	KCl 43.5~47.5、CaF ₂ 1.5~2.5、NaCl 18~22、LiF 2.5~4.0、LiCl 25~29.5、ZnCl ₂ 1.5~2.5	550	560~620	与Al-Si共晶类型钎料相配，耐腐蚀性比QJ201好，焊缝光滑。

6 钎焊设备与工装

6.1 钎焊方法与钎焊设备选择

3003铝合金与TC4钛合金常用钎焊方法及钎焊设备选择见表2。

表2 常用钎焊方法及设备的选择

钎焊方法	钎焊设备	优缺点	推荐使用范围
气保护感应钎焊	钎焊时通入惰性保护气体，可钎焊易氧化的工件产品。工件与线圈保持3mm-4mm间隙，感应电流发热区集中于工件钎焊部位。	优点：钎焊效率高；局部加热工件变形较小；惰性气体保护零件不被氧化；可钎焊各种形状复杂工件。 缺点：钎焊大型工件易出现温度不均匀现象。	1. 用于易氧化工件产品钎焊。 2. 用于钎焊形状复杂的工件。
真空钎焊	真空度优于 5×10^{-2} Pa；有效加热区的炉温均匀性： $\leq \pm 3^\circ\text{C}$ 。	优点：炉温均匀，一致性高，质量可靠。 缺点：设备投资高、维护费大。	1. 钎焊精度要求高。 2. 用于工件的批量钎焊。

6.2 辅助设备

超声波清洗机、储能点焊设备、喷砂机等辅助设备满足盾构机刮刀感应钎焊工艺要求。

6.3 工装

6.3.1 工装在钎焊温度下应保持尺寸稳定性和足够的强度、刚度，并有保持合适钎缝间隙的能力。

6.3.2 工装采用热容量小、不污染钎焊环境的材料。推荐采用不锈钢、石墨等。

7 钎焊工艺过程

7.1 钎焊工艺验证

7.1.1 当出现下列情况之一时均应进行感应钎焊工艺验证：

- a) 新产品投产；
- b) 钎焊材料、钎焊温度等工艺参数变化；
- c) 更换钎焊材料生产厂家；
- d) 采用新的钎焊设备；
- e) 钎焊设备大修、改造或搬迁；
- f) 超过一年未使用的钎焊设备重新投入使用。

7.1.2 钎焊工艺验证应采用工件或与工件母材和钎料相同的钎焊试件进行。

7.1.3 钎焊工艺验证确定的工艺参数应纳入工件的钎焊生产工艺文件中，钎焊工艺验证试验结果应按规定记录并存档。

7.2 钎焊工艺流程

3003铝合金与TC4钛合金钎焊工艺流程见图1。



图1 工艺流程图

7.3 操作工艺内容

7.3.1 焊前准备

- 7.3.1.1 检查母材外观，剔除表面不平，有缺陷的母材。
- 7.3.1.2 对钎焊表面清理、酸洗，去除表面残碳、氧化物。
- 7.3.1.3 酒精浸泡，烘干备用。
- 7.3.1.4 片状或箔状钎料裁剪成钎焊面形状相近的片状备用。
- 7.3.1.5 钎焊设备检查。

7.3.2 装配固定

- 7.3.2.1 按照图纸要求进行装配，确保3003铝合金与TC4钛合金间相互位置固定。
- 7.3.2.2 将膏状钎剂涂在TC4钛合金待焊处，依次放置涂有钎剂的钎料和3003铝合金，真空钎焊不需涂敷钎剂。
- 7.3.2.3 优先选用重力定位、突起部定位、配合定位等自身定位方法。
- 7.3.2.4 钎焊接头推荐间隙0.075mm~0.2mm，最佳间隙数值由试验评审后确定
- 7.3.2.5 根据实际情况确定钎料用量，防止钎料无序流动。

7.3.3 序间检查

组件装配、固定后应符合技术文件要求，钎料摆放、钎剂使用应符合工艺要求。

7.3.4 钎焊加热

7.3.4.1 钎焊温度

钎焊温度应比钎料液相线高 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，推荐选用钎料的钎焊温度范围可参照附录A。

7.3.4.2 加热速度

加热速度需结合3003铝合金与TC4钛合金待焊面积和钎料特性等因素综合考虑。推荐加热速度见表3。

表3 3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊推荐加热速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$

待焊面积/ mm^2	真空钎焊	气保护感应钎焊
<50	30-40	80-100
50-100	10-12	20-30
>100	小于 10	15-20

7.3.4.3 保温时间

对于待焊面积 $\geq 100\text{mm}^2$ 的3003铝合金与TC4钛合金接头，推荐保温时间为 $15\text{min}\sim 20\text{min}$ ；对于待焊面积 $< 100\text{mm}^2$ 的3003铝合金与TC4钛合金接头，推荐保温时间为 $10\text{min}\sim 15\text{min}$ 。

7.3.5 缓慢冷却

7.3.5.1 气保护感应钎焊时对于待焊面积 $< 100\text{mm}^2$ 的工件，焊后自然冷却。

7.3.5.2 气保护感应钎焊时对于待焊面积 $\geq 100\text{mm}^2$ 的工件，焊后应在 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 保温 $6\text{h}\sim 8\text{h}$ 后自然冷却。

7.3.5.3 真空钎焊时随炉冷却。

7.3.6 焊后处理

7.3.6.1 3003 铝合金与 TC4 钛合金接头表面多余的钎料可采用磨削或锉修的方法进行修正。

8 质量要求

8.1 尺寸及偏差

检查3003铝合金与TC4钛合金的配合位置、尺寸及公差是否满足图样要求。焊后需加工工件应有足够余量以满足最终尺寸要求。

8.2 外观质量

8.2.1 钎缝外露部位均应有钎料，钎缝应光滑连续。

8.2.2 钎缝表面应平滑、光洁，不应有影响使用的溶蚀、过烧、焊瘤、未焊透等缺欠。

8.2.3 钎缝不允许存在以下缺欠

8.2.3.1 3003 铝合金熔穿、钎缝存在穿透性气孔等。

8.2.3.2 钎缝堆积过高、表面粗糙。

8.2.4 抗拉强度

3003铝合金与TC4钛合金钎焊接头抗拉强度应符合表4的规定。

表 4 3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊接头的抗拉强度

抗拉强度/ MPa	断裂位置
≥100	试样断裂位置在铝合金母材处

9 检验

9.1 检验规则

9.1.1 工件的焊前准备、装配与固定、焊后处理均应进行检验。

9.1.2 钎缝应 100%进行目视外观检验，必要时使用 5~10 倍放大镜观察，对于有阻挡视线、不能直接目视的部位可采用反光镜观察。

9.2 检验方法

9.2.1 外观检验按照 JB/T 6966 的规定执行。

9.2.2 裂纹、疏松和气孔等表面缺欠宜采用渗透法检验。

9.2.3 钎缝的内部缺欠按照 GB/T 11345 的规定执行。

9.2.4 抗拉强度测试

抗拉强度测试按GB/T 11363的规定执行。

附录 A

(资料性)

3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊推荐用钎料

3003铝合金与TC4钛合金钎焊用钎料见表A.1。

表 A.1 3003 铝合金与 TC4 钛合金钎焊用钎料

牌号	合金元素含量 (质量分数, %)						熔化温度/°C	
	Si	Cu	Zn	Mn	其他元素 总量	Al	固相线	液相线
BA167CuSi	6	28	-	-	<1.0	余量	525	535
HL403	9.3-10.7	3.3-4.7	9.3-10.7	-	<1.0	余量	516	560
B62	3.5	20	25	0.3	<1.0	余量	480	500
Y-1	9-11	3-6	5-7	-	Yb≤0.04 Ti≤0.04	余量	525	560
BA192Si	6.8-8.2	≤0.25	≤0.20	-	<1.0	余量	575	615
BA190Si	9.0-11.0	≤0.30	≤0.10	-	<1.0	余量	575	590
BA186SiCu	9.3-11.7	3.3-4.7	≤0.20	-	<1.0	余量	520	585
BA188Si	11.0-13.0	≤0.30	≤0.20	-	<1.0	余量	575	585