

团 体 标 准

T/HNNMIA 32—2023

铝合金蜂窝板真空钎焊工艺规范

Technical Specification for Vacuum Brazing of Aluminum Alloy Honeycomb Plate

2023-4-18 发布

2023-4-18 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 设备与工装	4
7 钎焊工艺过程	4
8 质量要求	6
9 检验	6

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、中国机械总院集团宁波智能机床研究院有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、江苏科技大学、新乡航空工业（集团）有限公司、浙江新锐焊接科技股份有限公司、中航西安飞机工业集团股份有限公司。

本文件主要起草人：董显、龙伟民、钟素娟、黄俊兰、李秀朋、吕晓春、陈素明、王水庆、浦娟、郭鹏、王博、李云月、刘晓芳、李红涛、丁宗业、宋北、黄森、刘德运。

铝合金蜂窝板真空钎焊工艺规范

1 范围

本文件规定了铝合金蜂窝板真空钎焊工艺基本要求，钎焊材料选用，设备与工装，钎焊工艺过程，质量要求及检验。

本文件适用于铝合金蜂窝板的真空钎焊工艺与质量控制。

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 1452	夹层结构平拉强度试验方法
GB/T 1453	夹层结构或芯子平压性能试验方法
GB/T 1457	夹层结构滚筒剥离强度试验方法
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 33148	钎焊术语
JB/T 6966	钎缝外观质量评定方法
HB 5443	夹层结构用耐久铝蜂窝芯材规范
HB 5460	蜂窝构件超声波穿透C扫描检测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铝合金蜂窝板 Aluminum alloy honeycomb plate

铝合金蜂窝板是由两块铝合金面板，牢固地连接在一层铝合金蜂窝状芯材两面而制成的板材。

3.2

塌陷 Subside

塌陷指钎焊过程中，由于内部蜂窝芯强度不够发生倒伏，使铝合金蜂窝板下凹。

4 基本要求

4.1 人员

- 4.1.1 掌握真空钎焊相关知识，经专业培训后持证上岗。
- 4.1.2 掌握环境保护和职业健康安全相关知识，能解决工艺过程中出现的问题。
- 4.1.3 掌握真空钎焊设备、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

铝合金板材应符合GB/T 3880中3003、5005、6063的规定，铝合金箔应符合HB 5443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 钎料推荐选用液相线温度在 620℃以下铝硅系钎料，牌号及主要成分参照表 1。

表 1 铝合金蜂窝板真空钎焊推荐用铝硅系钎料

牌号	合金元素含量（质量分数，%）					熔化温度/℃	
	Si	Cu	Zn	其他元素总量	Al	固相线	液相线
国内 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

6 设备与工装

6.1 真空钎焊炉

真空钎焊炉的有效加热区尺寸满足工件的使用要求；真空钎焊炉最高温度：1200℃，温控精度±3℃；极限真空度：1.0×10⁻⁴Pa；真空钎焊炉的升温及冷却速率应满足钎焊热循环的要求；当真空钎焊炉未使用时间超过一个月时，使用前应进行烘炉操作。

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铝合金蜂窝板真空钎焊工艺要求。

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) 采用新的真空钎焊炉；
- e) 真空钎焊炉大修、改造或搬迁；
- f) 超过一年未使用的真空钎焊炉重新投入使用。

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

铝合金蜂窝板真空钎焊工艺流程见图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 对铝合金进行超声清洗后酒精浸泡，烘干备用。
- 7.3.1.2 片状或箔状钎料应裁剪成与钎焊面相近片状备用；粉状钎料应与粘结剂调制成膏状备用。
- 7.3.1.3 取铝合金箔并按照预设尺寸切割成箔带。
- 7.3.1.4 将所述箔带轧制成单条蜂窝芯。
- 7.3.1.5 将单条蜂窝芯逐条点焊在一起，形成一体式的蜂窝芯结构。
- 7.3.1.6 取铝合金板按照预设尺寸切割成两块面板。

7.3.2 装配固定

- 7.3.2.1 按照图纸要求进行装配，确保铝合金板与蜂窝芯的相互位置固定。
- 7.3.2.2 使用夹具进行固定，固定时使铝合金板与蜂窝芯的相对位置准确定位。
- 7.3.2.3 钎缝间隙一般控制在 0.03 mm~0.15mm，其最佳间隙数值应由试验评审后确定。
- 7.3.2.4 当采用箔状钎料时，可采用储能点焊机进行钎料定位。
- 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，钎料摆放使用应符合工艺要求。

7.3.4 钎焊加热

7.3.4.1 入炉

待焊铝合金蜂窝板送入真空钎焊炉后，在真空钎焊炉底座铺设Mg粒。抽真空，待真空压强不大于 1×10^{-3} Pa后方可加热升温。

7.3.4.2 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表1。

7.3.4.3 加热速度

加热速度需结合铝合金蜂窝板待焊面积和钎料特性等因素综合考虑。真空钎焊铝合金蜂窝板时：待焊面积 $\geq 100\text{mm}^2$ ，推荐加热速度为 $10^\circ\text{C}/\text{min}\sim 20^\circ\text{C}/\text{min}$ ，待焊面积 $< 100\text{mm}^2$ ，推荐加热速度为 $20^\circ\text{C}/\text{min}\sim 30^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

7.3.4.4 保温时间

对于待焊面积 $\geq 100\text{mm}^2$ 的铝合金蜂窝板，推荐保温时间为 $15\text{min}\sim 20\text{min}$ ；对于待焊面积 $< 100\text{mm}^2$ 的铝合金蜂窝板，推荐保温时间为 $10\text{min}\sim 15\text{min}$ 。

7.3.5 随炉冷却

钎焊结束后工件随炉冷却至室温方可从真空钎焊炉中取出。

7.3.6 焊后处理

铝合金蜂窝板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

应检查铝合金蜂窝板尺寸及公差是否满足图样要求。焊后需进行加工铝合金蜂窝板应保证有足够的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 不应有影响使用的过烧、焊瘤、未焊透、溶蚀等缺欠。

8.2.3 钎缝不允许存在以下缺欠

8.2.3.1 铝合金面板与内部蜂窝芯脱焊，钎缝处存在穿透性缺欠。

8.2.3.2 铝合金蜂窝板内部蜂窝芯被压溃，铝合金蜂窝板产生塌陷缺欠。

8.2.4 钎着率

铝合金蜂窝板钎着率应 $\geq 90\%$ 。

8.2.5 力学性能

铝合金蜂窝板接头力学性能应由需方规定。

9 检验

9.1 检验规则

9.1.1 铝合金蜂窝板在焊前准备、装配与固定、焊后处理后均应进行检验。

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 钎着率测试

铝合金蜂窝板钎着率计算公式如下：

$$A = \frac{L_1}{L} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A — 接头钎着率 (%)；

L_1 — 实测有效钎缝长度 (mm)；

L — 理论计算钎缝长度 (mm)。

9.2.5 力学性能测试

平拉强度测试按照GB/T 1452的规定执行；平压强度测试按照GB/T 1453的规定执行；滚筒剥离强度测试按照GB/T 1457的规定执行。