

### 铝及铝合金搅拌摩擦焊质量检验

Friction Stir Welding Quality Inspection Criterion for Aluminum Alloy

200-12-10 发布

200×-12-15 实施

---

北京航空制造工程研究所 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语及定义 .....	1
4 技术要求 .....	3
4.1 表面质量.....	3
4.2 内部质量.....	4
4.3 接头力学性能.....	4
4.4 剖切分析.....	4
5 焊接缺陷的修补 .....	4
6 检验规则和方法 .....	4
6.1 检验规则.....	4
6.2 检验方法.....	5
附录 A （资料性附录） 零件搅拌摩擦焊接质量检验 .....	6

## 前 言

本标准是根据国防科工委预研课题搅拌摩擦焊工艺技术研究项目的要求和搅拌摩擦焊技术特点及质量控制要求制定的。

目前（2004年6月），国内尚无铝合金搅拌摩擦焊质量检验的统一标准。本标准的颁布，将为中国搅拌摩擦焊中心及与其合作的相关院校、厂所在铝及铝合金搅拌摩擦焊质量控制方面提供依据。

铝及铝合金搅拌摩擦焊质量检验标准给出了上述系列铝合金产品搅拌摩擦焊接头质量技术要求，包括：焊缝表面质量、内部质量、焊接接头力学性能、焊接缺陷的修补、质量检验规则和方法以及资料性附录零件焊接质量检验记录表等内容。

本标准由北京航空制造工程研究所中国搅拌摩擦焊中心提出。

本标准由北京航空制造工程研究所批准。

本标准由北京航空制造工程研究所标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：北京航空制造工程研究所中国搅拌摩擦焊中心。

本标准主要起草人：栾国红、马翔生、孙成彬、柴鹏、季亚娟。

# 铝及铝合金搅拌摩擦焊质量检验

## 1 范围

本标准规定了同种或异种铝及铝合金焊件的搅拌摩擦焊（friction stir welding 简称FSW）质量检验标准。

本标准适用于航空、航天、船舶、舟桥制造、海洋钻井平台、轨道车辆、集装箱及汽车制造、建筑行业、电器制造、包装、装饰等产品的铝合金搅拌摩擦焊接头技术要求、焊接缺陷、性能检测、检验方法和标准。

本标准内未规定的要求及与本标准不同的要求应在设计文件中另行规定。

## 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。

- GB226 焊接试片高低倍金相组织检验
- GB2649~2655 焊接接头机械性能试验方法
- GB/T3375 焊接术语
- GJB481 焊接质量控制要求
- GJB1187 射线检验
- GJB1486 铝及铝合金熔焊对接接头X射线照相检验方法
- GJB2367 渗透检验方法
- HB/Z61 表面渗透检验
- HB7608 高温合金、不锈钢真空电子束焊接质量检验
- QJ2698 铝及铝合金熔焊通用技术条件
- Q/9s102 铝及铝合金搅拌摩擦焊工艺

## 3 术语及定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**未焊透** lack of penetration or incomplete penetration

FSW焊接时，接头根部未完全焊合的现象，称为未焊透。见图1。

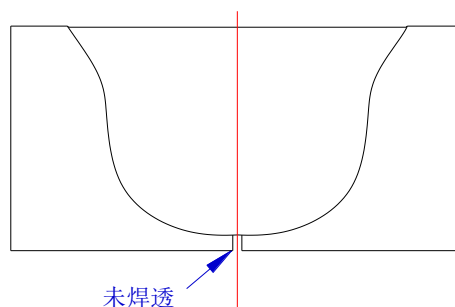


图1 未焊透缺陷

3.2

**隧道型缺陷 tunnel defect**

沿焊接方向塑性金属流动未填满焊缝形成的类似隧道的孔洞，称为隧道型缺陷，亦称为蠕洞缺陷，见图2。

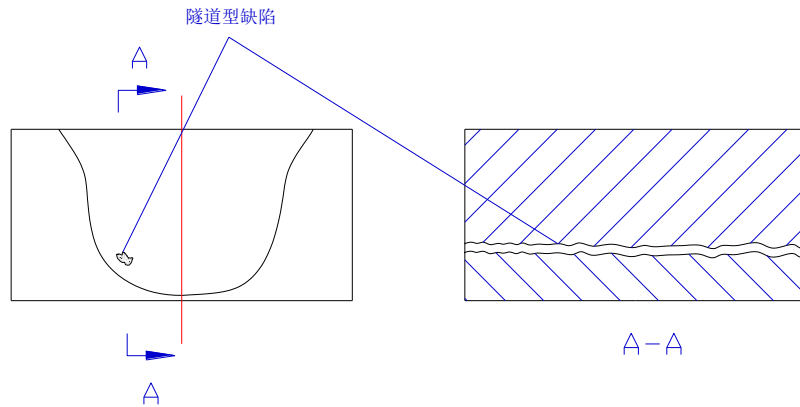


图2 隧道型缺陷的横截面和纵截面示意图

3.3

**裂纹状缺陷 crack-like defect**

在焊核区内产生的类似于裂纹的缺陷，称为裂纹状缺陷，见图3。

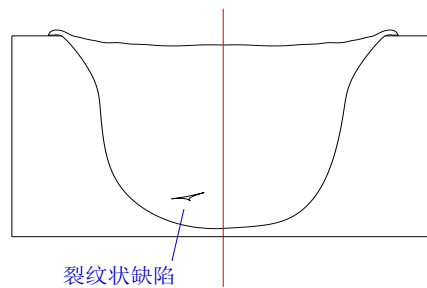


图3 裂纹状缺陷

3.4

**尾孔 key hole**

在焊缝的结束处，因搅拌头提起而留下的孔，称为尾孔，亦称匙孔，见图4。

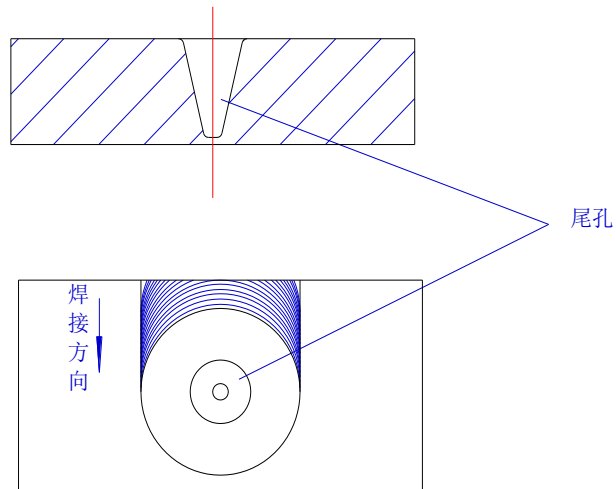


图4 尾孔

## 3.5

**表面沟槽 surface groove**

焊缝表面出现的类似沟槽的缺陷，称为表面沟槽，见图5。

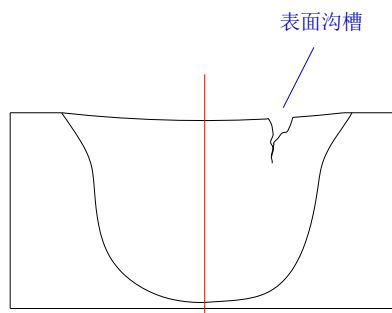


图5 表面沟槽

## 3.6

**焊接塌陷 excessive plunge depth**

由于压入量过大，使焊缝表面远远低于母材表面的现象，称为焊接塌陷，见图6。

## 3.7

**飞边 fin**

焊接过程中，在搅拌头轴肩压力的作用下，与轴肩接触的焊件表层金属发生塑性流变，沿轴肩边缘挤出，在焊缝边缘形成的毛刺，称为飞边。见图6。

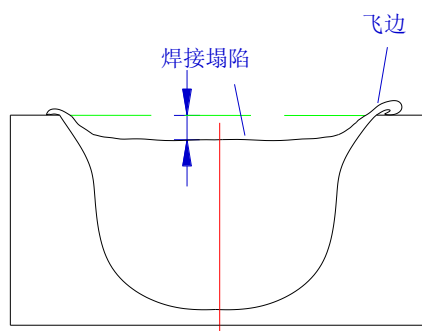


图6 焊接塌陷和飞边缺陷

## 3.8

**弱连接 kissing bond**

FSW焊缝金属与母材金属之间未形成有效的塑性挤压、扩散和连接，使结合面呈疏松状或贴合状，均称为弱连接。

## 3.9

**背面穿透缺陷 penetration through**

搅拌针穿过材料的厚度，压入垫板表面而造成焊缝背面粗糙的现象，称为背面穿透缺陷。

## 3.10

**修饰焊 embellishing welding**

用无搅拌针的搅拌头（轴肩直径略大于已焊焊缝表面宽度），在焊缝表面重复焊接，将比较粗糙的焊缝表面修饰平整、光洁的方法，称为修饰焊。

## 4 技术要求

## 4.1 表面质量

4.1.1 焊缝表面不允许有渣皮、表面沟槽及背面穿透缺陷，未焊透及焊接塌陷尺寸应符合表1规定。

表1 焊缝表面缺陷 单位为毫米

缺陷	厚度范围	焊缝等级		
		I级	II级	III级
未焊透	当 $\delta \leq 10$	不允许	$\leq 1.0$ 或 $0.1\delta$	$\leq 1.0$ 或 $0.15\delta$
	当 $\delta > 10$	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$\leq 1.5$
焊接塌陷	当 $\delta \leq 10$	$\leq 0.2$	$\leq 1.0$ 或 $0.1\delta$	$\leq 1.5$ 或 $0.15\delta$
	当 $\delta > 10$	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$

备注：1.  $\delta$  为焊件厚度 2. 两个数取其较小值

#### 4.1.2 焊缝表面飞边

I级焊缝表面不允许有飞边、II、III级焊缝允许有飞边。在不损伤零件厚度的情况下，允许用砂布、砂轮打磨、抛光，使接头表面圆滑过渡。

4.1.3 焊后加工的焊件，焊缝表面缺陷深度不超过加工余量时，缺陷允许存在。

#### 4.2 内部质量

4.2.1 焊缝内部不允许有裂纹。

4.2.2 焊缝内部允许的隧道型缺陷应符合表2的规定。

表2 焊缝内部缺陷 单位为毫米

缺陷	厚度范围	I级	II级	III级
隧道缺陷缺陷横截面最大尺寸	$\delta \leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.15$	$\leq 0.2$
	$\delta > 10$	$\leq 0.2$	$\leq 0.3$	$\leq 0.4$

备注： $\delta$  为焊件厚度

#### 4.3 接头力学性能

接头力学性能应符合图样或专用技术文件的规定。如无规定时，应符合下述要求：

a. I级对接焊接接头的抗拉强度不应低于同状态母材强度极限下限的90%；II级对接接头抗拉强度不低于80%；III级焊缝不作规定。

b. 其它型式接头的力学性能指标，通过试验确定并在设计文件中规定。

c. 不同材料接头按强度低的母材计算。

#### 4.4 剖切分析

对于I、II级搭接接头及角接接头的剖切分析，按设计文件规定进行，接头质量应符合4.1、4.2、4.3的规定。

#### 5 焊接缺陷的修补

5.1 凡不符合本标准规定的缺陷，允许进行修补。补焊工艺按 Q/9s102-2004 进行。

5.2 允许补焊的次数（在同一部位）：对于可热处理强化的铝合金 I级焊缝不超过一次，II、III级焊缝不超过两次；对于不可热处理强化的铝合金，I、II、III级焊缝补焊次数不超过三次。

5.3 允许修饰焊改善表面质量，修饰焊不算作补焊。

#### 6 检验规则和方法

##### 6.1 检验规则

6.1.1 焊缝质量应按焊缝等级进行检验。接头的等级由设计部门确定。焊缝等级的划分和I、II级焊缝的设计图样应标注的内容按 GJB481 规定进行。

6.1.2 焊接检验包括焊前检验、装夹定位、焊接、缺陷修补和最终热处理等。



- 6.1.3 接头检验项目有：目视检验、X 射线检验、渗透检验、气密性检验、力学性能检验、金相检验以及耐腐蚀试验、疲劳性能试验等。
- 6.1.4 检验方法的选择、检验部位、项目和周期均应在图样或专用技术文件中规定。
- 6.1.5 焊缝表面质量应 100% 目视检验，焊缝内部质量检验方法按设计图样要求选择确定。
- 6.1.6 缺陷极限以材料厚度来计算时，不等厚度接头按较薄处计算，有特殊规定的除外。
- 6.2 检验方法
  - 6.2.1 焊缝表面质量应用目视或不大于 10 倍的放大镜进行检验。
  - 6.2.2 焊件内部质量通过 X 射线检验和高低倍金相组织检验，焊件试片高低倍金相组织检验按 GB226 进行。。X 射线检验的抽检数量，Ⅰ级焊缝应 100% 检验；Ⅱ级焊缝，试制时 100% 检验，生产时每批抽检 10%~100%。对接接头的 X 射线检验方法按 GJB1486。搭接接头及角接接头的 X 射线检验方法按 GJB1187。其他项目的检验比例在专用技术文件中规定。
  - 6.2.3 接头力学性能试验按 GB2649~55 进行。
  - 6.2.4 接头的疲劳性能试验和耐腐蚀性能试验按图样或专用技术文件要求进行。
  - 6.2.5 渗透检验表面裂纹，按 HB/z61 进行。
  - 6.2.6 气密试验按专用技术文件要求进行。
  - 6.2.7 焊件的质量检验可参见附录 A（资料性附录）的内容作好记录。

附 录 A  
(资料性附录)  
零件搅拌摩擦焊接质量检验

表 A.1 零件焊接质量检验登记表

产品图号		组合件名称		零件数量编号		工序号	
------	--	-------	--	--------	--	-----	--

表 A.2 搅拌摩擦焊工艺参数

材料名称			状态		焊接厚度		材料类型		其它	
接头型式		对接		搭接		T 型接		L 型接		其它
搅 拌 头	特征	型号	轴肩直径 mm	轴肩端面形状	搅拌针直径 mm	搅拌针长度 mm	搅拌针锥度	其它		
焊接参数			转速 r/min	焊速 mm/min	压入量 mm	主轴倾角°		其它		

表 A.3 FSW 接头检验结果

目视检验	X 射线检验	力学性能检验		金相	超声波	其它
		$\sigma_b$ MPa				
		$\sigma_s$ MPa				
		$\delta$ %				
		母材 $\sigma_b$				
		接头效率%				
		其它				
备注						
单位	焊工 (签字)		检验 (签字)		主管 (签字)	
	年 月 日		年 月 日		年 月 日	