

# QJ

## 中华人民共和国航天行业标准

FL 6200

QJ 20044—2011

---

### 铝合金搅拌摩擦焊工艺规范

Process specification for friction stir welding of aluminum alloy

2011-07-19 发布

2011-10-01 实施

---

国家国防科技工业局 发布

## 前 言

本标准的附录A和附录B为资料性附录。

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司一院211厂。

本标准主要起草人：张丽娜、赵衍华、杜岩峰、刘景铎、苏敏。

# 铝合金搅拌摩擦焊工艺规范

## 1 范围

本标准规定了航天产品铝合金搅拌摩擦焊接的工艺技术要求,包括焊接工艺条件、焊件、焊前准备、焊接、焊接缺陷的修整和返修焊及焊接检验等要求。

本标准适用于母材厚度为 3mm~12mm 的 2A12、2A14、2219、5A03、5A06 材料牌号的铝合金 I 形对接接头的搅拌摩擦焊。

## 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(不包含勘误的内容)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。

GB/T 3375 焊接术语

QJ 2864 铝及铝合金熔焊工艺规范

QJ 3099—1999 航天产品焊接质量控制通用要求

QJ 20043—2011 铝合金中厚板搅拌摩擦焊技术要求

QJ 20047—2011 铝合金摩擦塞补焊工艺规范

## 3 术语和定义

GB/T 3375 和 QJ 20043—2011 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**搅拌头倾角 obliquity of welding tool**

搅拌摩擦焊时,搅拌头轴线方向与被焊面法线方向的夹角  $\alpha$  (见图 1)。

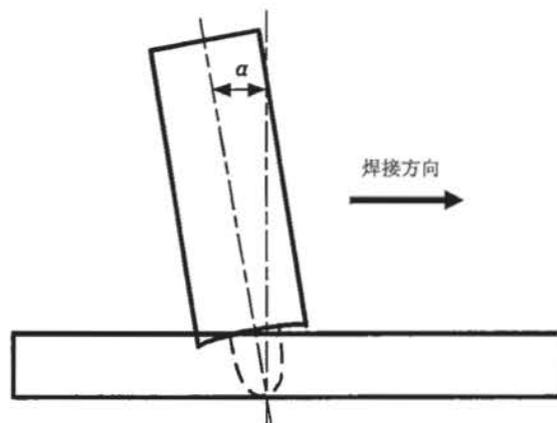


图 1 搅拌头倾角

## 4 一般要求

### 4.1 人员

从事焊接的操作人员、工艺人员和检验人员应符合 QJ 3099—1999 第 5 章规定的资质要求并熟悉搅拌摩擦焊工艺过程，了解本标准中关于搅拌摩擦焊工艺过程的控制要求。操作人员需经技术培训，考核合格后方可参加焊接生产操作。

### 4.2 设备

#### 4.2.1 搅拌摩擦焊机

4.2.1.1 搅拌摩擦焊机应具有可靠的控制系统，能满足焊接参数的调整需要，能在选定的参数下稳定的工作，并在鉴定期内保持合格状态。

4.2.1.2 焊机应配置相应的测量与检测装置、仪表显示装置及焊接参数输入记录装置等，焊机上的指示仪表应定期校准。

4.2.1.3 搅拌摩擦焊机主要参数的允许波动范围如下：

- a) 搅拌头转速： $\pm 1\%$ ；
- b) 搅拌头行进速度： $\pm 0.5\%$ ；
- c) 搅拌头倾角： $\pm 0.1^\circ$ 。

#### 4.2.2 搅拌头

搅拌头的制造要求如下：

- a) 依据铝合金材料搅拌摩擦焊的温度范围，搅拌头宜选取工作温度在  $700^\circ\text{C}$  以上仍能保持良好的高温韧性、高温硬度和抗磨性能的材料，如高速工具钢（高碳、高钒含钴的高速钢等）或高温综合性能尤其是抗磨性能更好的耐热合金钢等；
- b) 选用的搅拌头结构材料不应在焊接时与被焊铝合金发生粘连反应；
- c) 搅拌头的形状尺寸应能满足所焊材料的搅拌摩擦焊工艺要求；
- d) 搅拌头经加工后，可进行热处理以获得所需的性能。

### 4.3 工装

4.3.1 搅拌摩擦焊需针对被焊产品的结构特点配备满足焊接装配要求的焊接工装。

4.3.2 焊接垫板表面光洁，表面粗糙度  $Ra$  宜不大于  $3.2\mu\text{m}$ ，能实现和焊件的紧密贴合。

4.3.3 焊接垫板应有足够的刚性，且与被焊材料不发生反应。

### 4.4 工艺文件

搅拌摩擦焊应按设计文件和本标准规定编制可操作可检验的工艺文件。

### 4.5 环境温度与湿度

环境温度一般应保持在  $10^\circ\text{C}$  以上，相对湿度一般不大于  $80\%$ 。

### 4.6 焊件

4.6.1 焊件材料应符合有关标准规定。在图样或技术文件中应注明焊件材料、牌号、规格、状态及技术标准。

4.6.2 焊件对接面应平整、光洁、无毛刺，并保持锐边。

4.6.3 焊件对接边部位的厚度应保持一致，其波动范围应不超过表 1 的规定。

表 1 焊件对接边厚度波动范围

单位为毫米

母材厚度 $\delta$	3.0~5.0	>5.0~8.0	>8.0~12.0
焊接接头厚度波动范围 不大于	5% $\delta$ 或 0.2, 取较小值	5% $\delta$ 或 0.3, 取较小值	5% $\delta$ 或 0.5, 取较小值

## 4.6.4 引入板与引出板

当需要采用引入板和引出板时,所用材料应与焊件相同;引入板与引出板的宽度根据焊件的结构自定,但其厚度应与被焊件的厚度一致。

## 4.6.5 试件和试样

所采用的试件和试样的材料牌号、状态、厚度、接头形式和焊接质量的要求应与被焊产品相同。

## 5 焊接

## 5.1 焊前准备

## 5.1.1 表面清理

焊前应对焊件的待焊部位进行清理,去除接头对接面及待焊区周围(搅拌头轴肩直径+10mm)区域的氧化膜、油污及异物等。清理方法可采用化学方法和机械方法。采用引入板与引出板时,其清理方法应与焊件相同。

## 5.1.2 装配

## 5.1.2.1 装配间隙

对接接头允许的局部最大间隙应不超过表 2 的规定。

表 2 对接接头允许的局部最大间隙

单位为毫米

母材厚度 $\delta$	局部最大间隙
3.0~5.0	$\leq 10\% \delta$ 或 0.4, 取较小值
>5.0~8.0	$\leq 10\% \delta$ 或 0.6, 取较小值
>8.0~12.0	$\leq 10\% \delta$ 或 1.0, 取较小值

## 5.1.2.2 错边

焊前错边(含厚度波动)应不超过表 3 的规定。

表 3 焊前允许最大错边量

单位为毫米

母材厚度 $\delta$	最大错边量
3.0~5.0	5% $\delta$ 或 0.2, 取较小值
>5.0~8.0	5% $\delta$ 或 0.3, 取较小值
>8.0~12.0	5% $\delta$ 或 0.5, 取较小值

## 5.1.2.3 偏移

焊前装配搅拌头旋转中心与焊件对接面的偏移量应不超过表 4 的规定。

表 4 焊前装配偏移量要求

单位为毫米

母材厚度 $\delta$	最大偏移量
3.0~5.0	10% $\delta$ 或 0.4, 取较小值
>5.0~8.0	10% $\delta$ 或 0.6, 取较小值
>8.0~12.0	10% $\delta$ 或 1.0, 取较小值

#### 5.1.2.4 焊件装配要求

焊件焊前装配应符合下述要求:

- a) 焊件装配应在焊接工装上进行,确保焊件与垫板紧密贴合,保证接头的装配间隙、错边、偏移量符合表2~表4的规定;
- b) 可采取定位焊的方法保证装配质量。

#### 5.1.3 定位焊

5.1.3.1 焊件装配后可进行定位焊,以控制装配间隙,定位焊宜在工装夹具上进行。

5.1.3.2 定位焊可采用熔焊和搅拌摩擦焊,其要求如下:

- a) 采用熔焊进行定位焊,可不添加焊丝,允许不焊透,熔焊定位焊缝一般位于焊缝端部,且焊缝尺寸尽量短;
- b) 采用搅拌摩擦焊进行定位焊,一般采用小尺寸的搅拌头焊接。

5.1.3.3 熔焊定位焊后,应在正式搅拌摩擦焊前采用机械方法清除定位焊缝的余高及其表面氧化物等,同时避免多余物进入焊件对接面。

### 5.2 施焊

#### 5.2.1 焊接工艺参数的确定

5.2.1.1 新产品焊接前,应通过焊接试件或试样确定焊接工艺参数(搅拌头转速、搅拌头行进速度等),接头质量应满足 QJ 20043—2011 中第4章的规定,并进行焊接工艺评定,将焊接工艺参数纳入工艺文件,作为生产的依据,焊接前需要确认搅拌头及工艺参数符合工艺文件的要求。

5.2.1.2 批次产品焊接前,应按已确定的工艺参数焊接试件或试样,以验证焊接工艺参数的稳定性,合格后,方可正式焊接产品。搅拌摩擦焊 I 形对接接头典型搅拌头结构尺寸及焊接工艺参数参见附录A;搅拌摩擦焊常见缺陷产生原因及防止措施参见附录B。

#### 5.2.2 焊接工艺参数的重新确认

出现下列任一情况时,应按4.4.1重新确认焊接工艺参数:

- a) 搅拌头材料和结构变化;
- b) 母材厚度变化超过15%;
- c) 由于焊接工艺参数的原因出现不合格产品;
- d) 更换工装影响焊接接头的散热条件。

#### 5.2.3 焊接操作

5.2.3.1 搅拌摩擦焊搅拌头与焊件的倾角为 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ,搅拌针尺寸与产品板厚尺寸相匹配。

5.2.3.2 搅拌摩擦焊接参数与搅拌头材料和形状、产品材料、产品厚度等相关,焊接操作时应合理匹配搅拌头转速、搅拌头行进速度等焊接参数,防止产生焊接缺陷。

5.2.3.3 焊接操作应严格执行工艺文件及 QJ 3099—1999 的有关规定。

5.2.3.4 焊接操作人员与焊接检验人员应注意检查工艺参数的正确性和稳定性,发现工艺参数及设备问题时应采取应急处理措施,确认故障已排除后方可进行焊接。

#### 5.2.4 应急处理

发生下列情况之一,应停止焊接:

- a) 焊接设备不稳定;
- b) 搅拌针发生断裂;

- c) 焊接位置严重偏离;
- d) 焊接压力不足;
- e) 出现严重质量问题。

### 5.3 缺陷的修整和返修焊

5.3.1 凡超出 QJ 20043—2011 规定的内外部缺陷应进行修整及返修焊。允许采用机械方法进行修整的缺陷,修整合格后可不再进行返修焊。

5.3.2 返修焊应编制工艺文件,返修焊工艺文件应包括返修焊接方法、焊接工艺参数、质量要求等内容。

5.3.3 搅拌摩擦焊缺陷的返修焊接方法有搅拌摩擦焊、熔焊及摩擦塞焊等,具体按如下要求进行:

- a) 返修焊一般采用搅拌摩擦焊返修缺陷;
- b) 对于尺寸较小的根部弱结合和未焊透及修整未完全去除的背面凹坑可采用熔焊进行返修焊;
- c) 非连续点状缺陷,可采用摩擦塞补焊的方法进行返修焊。

5.3.4 焊接工艺参数按以下原则进行选择:

- a) 采用熔焊方法进行返修焊,按 QJ 2864 的规定进行;
- b) 采用搅拌摩擦焊进行返修焊,可采用大尺寸搅拌头全长返修焊接,或挖排缺陷后,根据填充材料尺寸大小确定搅拌头尺寸;
- c) 采用摩擦塞补焊的方法进行返修焊,依据 QJ 20047—2011 的规定进行。

5.3.5 典型返修焊程序如下:

- a) 确定缺陷性质和存在位置;
- b) 根据缺陷性质确定返修焊接方法;
- c) 根据需要排除缺陷并确认;
- d) 返修焊;
- e) 检验返修焊质量。

### 5.4 焊接检验

5.4.1 检验人员应按工艺文件的要求,在焊前准备、焊接、缺陷修整和返修焊后进行检验,并对焊接过程的工艺参数和质量状况进行检验和记录。

5.4.2 力学性能、外观质量、内部质量、返修焊质量检验和致密性检查项目、检验方法和要求应按 QJ 20043—2011 中 6.2~6.4 的规定执行。

附录 A  
(资料性附录)

搅拌摩擦焊 I 形对接接头典型搅拌头结构尺寸及焊接工艺参数

搅拌摩擦焊 I 形对接接头搅拌头典型结构示意图见图 A.1，典型工艺参数见表 A.1。

表 A.1 搅拌摩擦焊 I 形对接接头典型搅拌头结构尺寸及焊接工艺参数

母材厚度 $\delta$ mm	搅拌头材料	搅拌针形状	搅拌针尺寸		轴肩尺寸			搅拌头转速 rpm	搅拌头行进速度 mm/min	搅拌头倾角 $\alpha$ (°)
			$d$ mm	$h$ mm	$D$ mm	$\beta$ (°)	$t$ mm			
3~5	高速工具钢或耐热合金	圆锥形/带螺纹	$\phi 3\sim\phi 5$	$\delta-0.2$	12~20	5~10	3~8	500~1100	200~400	2~5
>5~8	耐热合金	圆锥形/带螺纹	$\phi 5\sim\phi 8$	$\delta-0.2$	18~25	5~10	3~10	500~1150	100~350	2~5
>8~12	耐热合金	圆锥形/带螺纹	$\phi 7\sim\phi 10$	$\delta-0.2$	18~30	5~10	3~12	500~1150	100~350	2~5

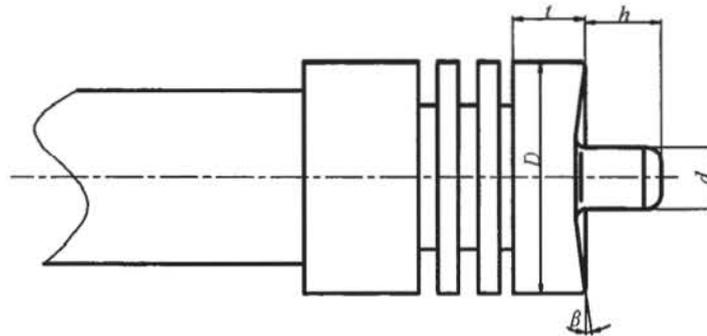


图 A.1 I 形对接接头搅拌头典型结构

附录 B  
(资料性附录)

搅拌摩擦焊典型缺陷产生的原因及预防措施

搅拌摩擦焊典型缺陷产生的主要原因及预防措施见表 B.1。

表 B.1 搅拌摩擦焊典型缺陷产生的主要原因及预防措施

缺陷名称	产生原因	解决措施
飞边过大	1.搅拌头压入量过大; 2.焊缝错边; 3.焊接接头部位的板厚差过大	1.控制焊接压入量; 2.焊前选配板材,确保两对接板材厚度基本保持一致,满足表 3 要求; 3.焊前选配板材,确保板材厚度波动范围不要过大,满足表 1 要求
起皮	1.焊接过程中热输入量过大; 2.原始母材的特性	1.合理匹配焊接参数,控制焊接热输入量不要过大; 2.进行原始母材焊接性试验
孔洞型缺陷	1.焊接过程中,压入量不足; 2.焊接过程中,对接间隙过大; 3.搅拌头结构设计不合理; 4.焊接热输入量不足,材料流动不充分	1.控制焊接压入量; 2.控制原始母材对接间隙值,满足表 2 要求; 3.选择合适的搅拌头; 4.合理匹配焊接规范参数
表面犁沟	1.焊接过程中,压入量不足; 2.焊接过程中,对接间隙过大; 3.搅拌头结构设计不合理; 4.焊接热输入量不足,材料流动不充分	1.控制焊接压入量; 2.控制原始母材对接间隙值,满足表 2 要求; 3.选择合适的搅拌头; 4.合理匹配焊接规范参数
夹杂物	1.搅拌针扎入垫板,并且使垫板材料搅入焊缝中; 2.原始母材中存在硬度较大的金属或非金属夹杂	1.搅拌头与原始母材厚度匹配; 2.控制原始母材的质量
未焊透	1.搅拌头探针尺寸与原始母材厚度不匹配; 2.搅拌头压入量不足	1.合理选配搅拌头; 2.合理匹配焊接规范参数
根部弱结合	1.搅拌头探针尺寸与原始母材厚度不匹配; 2.搅拌头压入量不足; 3.搅拌头与原始母材接合面不对中	1.合理选配搅拌头; 2.合理匹配焊接规范参数; 3.控制焊前装配偏移量,满足表 4 要求

中华人民共和国航天行业标准  
**铝合金搅拌摩擦焊工艺规范**  
QJ 20044—2011

\*

中国航天标准化研究所出版  
北京市丰台区小屯路 89 号  
邮政编码：100071

中国航天标准化研究所  
印务发行部印刷、发行

**版权专有 不得翻印**

\*

2011 年 10 月出版