



指南编号/Guideline No.W-24(202311)

**W-24**

# 铝合金搅拌摩擦焊带筋板

生效日期/Issued date: 2023 年 11 月 10 日

©中国船级社 China Classification Society

## 前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 [mp@ccs.org.cn](mailto:mp@ccs.org.cn)

历史发布版本及发布时间: 新编

本版本主要修改内容: 无

## 目 录

1 适用范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
4 图纸资料.....	6
5 技术要求.....	7
6 原材料及零部件.....	9
7 型式试验.....	9
8 单件/单批检验 .....	13
附录 A 焊缝缺陷示意图 .....	14
附录 B 推荐的预焊接工艺评定表格 .....	15
附录 C 推荐的焊接工艺评定表格 .....	17
附录 D 推荐的焊接工艺记录.....	18
附录 E 铝合金搅拌摩擦焊“S”线现象.....	21

## 铝合金搅拌摩擦焊带筋板

### 1 适用范围

1.1 本指南适用于按照本社《钢质海船入级规范》、《材料与焊接规范》要求制造的铝合金搅拌摩擦焊接带筋板的工厂认可和产品检验。对于铝合金轧制板材搅拌摩擦焊的要求，可参照本指南的要求进行。

1.2 本指南适用于挤压成型的铝合金带筋板的对接焊缝，不适用其他接头型式。

### 2 规范性引用文件

- (1) 中国船级社《材料与焊接规范》
- (2) 中国船级社《钢质海船入级规范》
- (3) ISO 25239 Friction stir welding – Aluminium 搅拌摩擦焊-铝
- (4) GB/T 34630.1 搅拌摩擦焊铝及铝合金第 1 部分:术语及定义
- (5) ASME BPVC Sec. IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 美国机械工程师协会锅炉和压力容器规范第九节:焊接和钎焊评定
- (6) AWS D17.3/D17.3M Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications 美国焊接学会航空航天用铝合金摩擦搅拌焊接规范
- (7) ISO 17637 Non-destructive testing of welds –Visual testing of fusion-welded joints 焊缝的无损检测 熔焊接头的目视测试
- (8) GB/T 32259 焊缝无损检测熔焊接头目视检测
- (9) ISO 23277 Non-destructive testing of welds–Penetrant testing–Acceptance levels 焊缝无损检测 渗透检测 验收等级
- (10) CB/T 3929 铝合金船体对接接头 X 射线检测及质量分级
- (11) NB/T 47013.2 承压设备无损检测第 2 部分:射线检测
- (12) NB/T 47013.3 承压设备无损检测第 3 部分:超声检测
- (13) JIS Z 3080 Methods of ultrasonic angle beam examination for butt welds of aluminium plates 铝板对接焊缝超声波斜射束检测方法

### 3 术语和定义

3.1 搅拌摩擦焊接 Friction Stir Welding (FSW): 一种在机械力和摩擦热作用下的固相连接方法。利用轴肩和搅拌头与焊件间的摩擦热使结合面处的金属塑态化并在搅拌头和轴肩的共同牵引、搅动作用下向后流动、填充、形成固相焊缝。

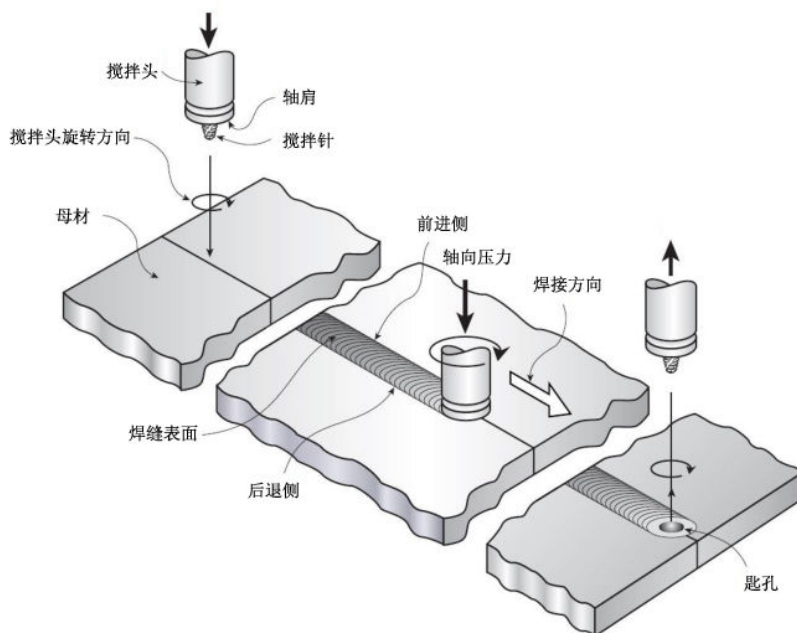


图 3.1 搅拌摩擦焊基本原理图

3.2 搅拌头: 搅拌摩擦焊接过程中由搅拌针和轴肩组成的旋转部件, 见图通常由一个(或多个) 搅拌针、轴肩组成, 也可能没有轴肩或搅拌针。

3.3 搅拌针: 在搅拌摩擦焊接过程中, 插入母材内部进行焊接的搅拌头部分。

3.4 轴肩: 与搅拌针根部相连, 焊接时与母材表面接触并发生作用的搅拌头部分。

3.5 轴向压力: 焊接时沿搅拌头轴向施加于工件上的力。

3.6 压入量: 焊接过程中, 搅拌头的轴肩最低点压入母材表面的深度。

3.7 倾角: 在与焊接方向平行的平面上, 搅拌头中心线与工件表面法线之间的夹角。

3.8 侧倾角: 在与焊接方向垂直的平面上, 搅拌头中心线与工件表面法线之间的夹角。

3.9 表面下凹：搅拌摩擦焊后，焊缝表面低于相邻母材表面的现象。

3.10 未焊透：焊接深度小于要求的(或规定的)深度，通常在该区域存在塑性变形，材料间紧密接触但并未形成有效结合。

3.11 飞边：焊接时出现在接头表面沿焊趾处翻卷的金属残留物。

3.12 隧道孔洞：搅拌摩擦焊焊缝内部形成的沿焊接方向的隧道状孔洞。

3.13 错边：两个焊件表面应平行对齐时，未达到规定的平行对齐要求而产生的偏差。

3.14 下塌：对接焊缝根部金属突出焊缝下表面高度过大。

3.15 起驻时间：从搅拌头插入母材至最大深度到其开始移动时的时间间隔。

#### 4 图纸资料

制造厂向本社申请产品初次认可时应提交以下的资料、图纸和技术文件如下：

4.1 工厂概况：包括工厂名称、地址、生产历史、生产能力、主要产品、法人代表、营业执照、ISO9000 质量体系证书、从事检验、试验、焊接、无损检测人员及主要技术管理人员等关键技术管理岗位人员清单及其所需具备的资格证书或资质等。

4.2 申请认可产品的明细：合金牌号、合金状态、厚度范围、最大长度。

4.4 主要生产设备清单，包括下列设备相关的技术参数：

- (1) 搅拌摩擦焊焊机：焊接厚度范围、最大宽度、最大长度、主轴转速、轴向压力等参数；
- (2) 热处理设备（如有时）：尺寸、加热方式、炉温测量布置情况；
- (3) 锯切设备；
- (4) 精整设备（如有时）。

4.5 主要检测设备清单，包括下列设备相关的技术参数：

- (1) 万能材料试验机；
- (2) 弯曲试验机；
- (3) 金相显微镜（如有时）；

(4) 尺寸检查设备;

(5) 无损检测设备。

#### 4.6 型式试验大纲

4.7 生产工艺及检验资料: 焊接板从原材料进厂验证到成品入库制造工艺流程图, 其中包含主要的工序和相应的检测点; 主要工艺文件及检验试验指导书。

4.8 焊接设备及其工具的维护及校准规定或者程序。

4.9 外购坯料管理规定或相关描述。

4.10 产品质量证明书样本。

### 5 技术要求

#### 5.1 焊接设备及工具要求

焊接设备(如焊接机和 FSW 工具)具有能够产生规定的标准焊缝的能力。安装在自动、机械化或机器人焊接设备上的仪表、量具等应使用设定程序进行校准, 制造厂应制定并记录适用的校准程序。当仪表和刻度盘已被修理或更换时, 也应进行所需的校准。生产中使用的任何搅拌摩擦焊接工具应记录其寿命、清洁和检查频率。

5.2 在焊接开始前 24 小时内应对焊接接头位置进行清理, 可能影响焊接质量(如母材、工具和夹具)的表面应去除保护性油、油脂、污垢或任何其他污染物, 保持其无表面氧化物(见附录 E)。同时, 制造厂也可评估环境条件的影响, 适时调整焊前清洁时间, 但不应大于焊接前 24 小时。应根据需要使用化学清洁方式(如碱性清洁、溶剂擦拭或酸洗)或机械方式进行清洁(例如钢丝刷、刮擦、喷砂或机加工), 以确保符合上述要求。

5.3 应在目视检查后, 清除焊缝边缘的所有飞边、错边或其他突出金属。但去除缺陷的方法应不会降低焊缝接头或母材金属性能, 同时使焊缝和母材厚度保持在图纸公差范围内。

5.4 进行 FSW 操作的焊工(焊接操作者)其资质要求一般应满足我社《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章 4.1.1.5 的要求, 如果按照国家标准或国际标准进行考试的焊工或焊接操作工应符合《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章 4.1.2.4 的要求。

5.5 对搅拌摩擦焊缝进行焊补应按照批准的焊接工艺进行, 所有操作应符合适用的条款要求, 同时应记录修复的相关信息, 包括但不限于:

- (1) 修补期间焊补的次数；
- (2) 修补位置及相关产品的追溯信息；
- (3) 修补中涉及的每个操作（包括修复后检验）的详细信息。

5.6 焊接工艺规程（WPS）的编制。制造厂应编制 WPS。WPS 应提供焊接所需的所有信息。WPS 中要求的至少包含信息如下第 1-10 点所示。WPS 推荐表格示例见附录 C。

- (1) 制造厂信息：
  - ① 制造厂名称、地址；
  - ② 支持 WPS 的 WPQR 编号。
- (2) 母材：
  - ① 产品形式（如轧制板材、挤压板材型材）；
  - ② 材料牌号；
  - ③ 合金状态(T4、T5、T6 等)；
  - ④ 接头处母材最大厚度；
  - ⑤ 衬垫材料。
- (3) 设备标识：
  - ① 型号；
  - ② 设备编号；
  - ③ 设备制造商。
- (4) 搅拌头相关信息：如图号，编号，型号，材料、尺寸和形状等；
- (5) 接头信息：
  - ① 焊接接头类型；
  - ② 焊接接头设计和尺寸公差草图；
  - ③ 接头间隙公差；

- ④ 最大允许接头对接、角度偏差。
- (6) 焊前清洁;
- (7) 焊接细节:
  - ① 搅拌头旋转参数 (例如, 顺时针或逆时针旋转, 旋转速度);
  - ② 草图上给出的焊接顺序和焊接方向, 如果适用;
  - ③ 倾角;
  - ④ 侧倾角;
  - ⑤ 停留时间;
  - ⑥ 主要控制方法: 力控制、位置控制;
  - ⑦ 轴向压力;
  - ⑧ 焊道数量和每次焊道的方向(适用时)。
- (8) 焊接速度;
- (9) 预热温度(适用时);
- (10) 焊后热处理: 固溶热处理、自然和人工时效、应力消除 (消除纠正变形和拉直变形零件所造成应力的方法)。

## 6 原材料及零部件

用于制造搅拌摩擦焊带筋板的原材料: 挤压型材/板材应持有本社产品证书或等效证明文件, 且由本社认可的铝合金板材/型材制造厂生产。

## 7 型式试验

铝合金搅拌摩擦焊带筋板的型式试验按照焊接工艺评定的要求进行, 其试验大纲的编写可依照 WPS 的要素进行。初次认可时焊接工艺评定可在选取的全长度典型产品上进行; 另外一种方式: 可以单独焊接焊评试板, 但这时必须再焊接一个全长度典型产品并在其长度范围内按照本指南要求进行焊接前检查、焊后外观尺寸、焊后无损检测试验。

### 7.1 典型样品的选取原则

工厂认可试验用铝合金搅拌摩擦焊带筋板的特性、特征及制造质量应能代表

或覆盖工厂申请认可的产品属性的边界条件：合金牌号、合金状态、厚度范围、最大长度。不同产品牌号不能覆盖；合金状态强度高的可以覆盖强度低的；认可的厚度范围应符合各个 WPS 所支持的最大厚度；最大焊接长度应该符合制造厂焊机的最大能力，在认可时尽量选取具有较长焊缝的产品作为典型产品以验证其能力。

## 7.2 型式试验项目

- (1) 焊接前检查；
- (2) 焊接工艺评定试验；
- (3) 焊后外观及尺寸检查；
- (4) 焊后无损检测。

## 7.3 试验要求

7.3.1 焊接前检查：对焊接前对母材信息进行检查，例如：尺寸、接头厚度、间隙、焊前清洁、搅拌头参数、焊接设备参数设定等是否满足图纸及 WPS 的要求。

### 7.3.2 焊接工艺评定

- (1) 核对焊接过程中参数执行情况是否满足 PWPS 要求，例如：搅拌头旋转参数（例如，顺时针或逆时针旋转，旋转速度）、焊接顺序和焊接方向、倾角、侧倾角、停留时间、主要控制参数（力、位置）等。
- (2) 焊缝外观检查

应对焊接后的试样/试板进行目视检查，目视检查应符合 ISO 17637 或 GB/T 32259 的要求。除非批准图纸另有规定，对于外观缺陷的验收准则一般应符合表 7.3.2(2)的要求。

**焊缝外观质量要求**

**表 7.3.2(2)**

缺陷类型	合格要求
未熔合、未焊透	不允许
表面空洞、沟槽	不允许
飞边	满足设计技术要求
下塌	不允许，可打磨去除
错边	$h \leq 0.2t$ 或 2mm 选其中小者

角度偏差	$h \leq 3^\circ$ 或满足设计技术要求
表面下凹（未焊满）	对于 $t \geq 2\text{mm}$ , $h \leq 0.2\text{mm} + 0.1t$ 对于 $t < 2\text{mm}$ , $h \leq 0.15\text{mm}$ 在任意 100mm 长度范围内, 总长度不超过其 1/3 且不能超过母材厚度的负偏差
焊缝宽度不齐	满足设计技术要求
表面不规则	满足设计技术要求

(3) 焊接试板/试样应进行表面和内部无损检测试验。

对于焊缝无损检测的验收标准可按照表 7.3.2 (3) 所列公认标准的等级或更高等级, 同时经 CCS 同意也可以采用其他无损检测标准或方法进行检验。对于焊缝内部缺陷的无损检测方式可时情况 RT、UT 任选其一。

焊缝无损检测要求

表 7.3.2(3)

无损检测方式	标准	合格要求
PT	ISO 23277	2X
RT	CB/T 3929 NB/T 47013.2	II 级或设计技术要求
UT	NB/T 47013.3 JIS Z3080	NB/T 47013.3: II 级 JIS Z3080: III 级 或设计技术要求

(4) 力学性能试验

应在焊接试板/试样的头段、中间段和尾端进行横向拉伸、弯曲试验。每段的间隔至少 150mm, 每段取横向拉伸×1、弯曲试验×2 (面弯×1, 背弯×1, 对于厚度超过 12mm 的材料, 可以用两个横向侧弯试样代替 1 个面弯和 1 个背弯试样), 共计 3 个横向拉伸试样、6 个弯曲试样。横向拉伸、弯曲试验的试验结果应符合我社材料与焊接规范第 1 篇第 8 章第 6 节的要求。

(5) 宏观金相

应在焊接试板/试样的头段、中间段和尾端进行宏观金相。每段的间隔至少 150mm 制取试样。宏观试验应在 10× 放大镜下对焊缝横截面进行检查。除满足表 7.3.2(2) 中适用的要求外, 对于焊缝内部缺陷应符合表 7.3.2(5) 的要求。

焊缝缺陷质量要求

表 7.3.2(5)

缺陷类型	合格要求	
隧道孔洞	缺陷高度 $h \leq 0.2 \times \text{焊缝厚度}(T)$ 或 4mm, 两者取小。	
未焊透	不允许	
根部缺陷 (焊接接头残留物)	粘合	未粘合
	符合设计技术要求	不允许
固体夹杂物	同一截面发现多个夹杂物, $l = l_1 + l_2 + \dots$ 夹杂物 $< 0.2\text{mm}$ 的可忽略, $l \leq 0.2T$ , T: 接头厚度	

(6) 其他技术规格书中要求的附加试验, 例如: 腐蚀试验 (如用于接触海水的环境)、金相试验。

### 7.3.3 焊后外观及尺寸检查

满足图纸文件和本指南 7.3.2(2)条要求。

### 7.3.4 焊后无损检测

应满足本指南 7.3.2(3)的要求, 在产品的头、中、尾至少选取 300mm 长度焊缝进行表面和内部无损检测试验。

7.4 焊接工艺评定中重要变量, 如果超过范围的要求值则需要重新进行工艺评定。

焊接评定中重要参数变量范围

表 7.4

参数	需要重新评定的范围
牌号	合金牌号发生变化
合金状态	同合金牌号由低强度状态向高强度状态
厚度	变化 $\pm 10\%$ 或 1mm 两者取大
接头间隙	变化超过 1mm
倾角	超过 WPS 中规定的范围
侧倾角	超过 WPS 中规定的范围
母材清洗	清洗方式发生改变, 如机械、化学方式
搅拌头转速	变化超过 $\pm 5\%$
轴向压力	变化超过 $\pm 10\%$
压入量	变化超过 $\pm 10\%$
焊接速度	变化超过 $\pm 5\%$
搅拌头	搅拌头和搅拌针材料改变; 搅拌头和搅拌针结构变化, 例如: 肩部直径、搅拌针直径、搅拌针长度、搅拌针形状、螺纹或无螺纹; 搅拌头型号变化

起驻时间	变化±5%
过程控制方法	改变力控制或者位置控制，反之亦然
预热温度	最高评定温度之下 30℃
焊后热处理	是否进行焊后热处理

### 7.5 复试

如果试件不能符合型式试验项目中规定的外观、目视检测、无损检测要求，则应再按原条件重新焊制一块试件，并进行同样的检测。如果这块新焊的试件仍不满足要求，则型式试验不合格。

如果试样力学性能试验不合格，则每个不符合项应再取双倍试样进行复试。这些试样应取自原试件对应位置，每个重复测试的试样应进行与原未合格试样相同的试验。复试试样中的任何一个不符合要求，则型式试验不合格。

型式试验不合格的，应认真分析不合格原因，在调整参数后，重新焊接试板进行全部试验。

## 8 单件/单批检验

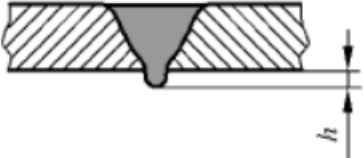

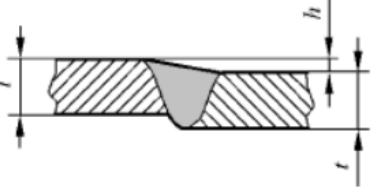
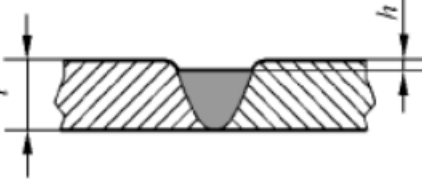

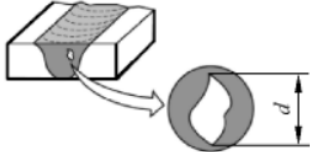
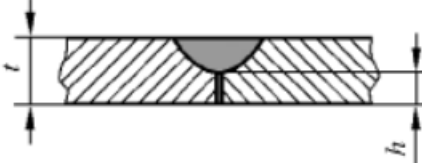
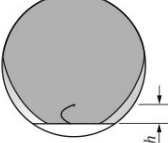
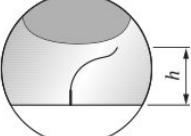
铝合金搅拌摩擦焊带筋板出厂检验项目见表 8。

铝合金搅拌摩擦焊带筋板出厂检验项目

表 8

试验项目	试验要求	备注
外观检查	试验结果符合设计技术要求及本指南 7.3.2(2)条	
尺寸检查		
拉伸试验	组批取样规定和试验结果应符合《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章第 6 节要求	
弯曲试验		
无损检测	符合技术文件要求或本指南 7.3.2(3)	当技术文件要求或者验船师认为有必要时
宏观金相	试验结果应符合本指南 7.3.2(5)的要求	组批取样规定应符合《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章第 6 节要求

附录 A 焊缝缺陷示意图

缺陷名称	缺陷示意图
表面缺陷	
下塌	
飞边	
错边	
表面下凹	
角度偏差	
内部缺陷	
隧道空洞	
未焊透	
根部缺陷(焊接接头残留物) 粘合	
根部缺陷(焊接接头残留物) 未粘合	

## 附录 B 推荐的预焊接工艺评定表格

### 焊接工艺规程 (PWPS) Preliminary Welding Procedure Specification

焊接工艺名称及编号 Name and serial number			
支持工艺评定的WPQR(S) Qualified supporting WPQR(S):			
制造厂名称及地址 Manufacture's name and address			
搅拌摩擦焊接方法: Friction stir welding method		坡口设计(草图) Test joint details (sketch with dimensions)	
接头型式: Joint type			
单面焊 <input type="checkbox"/>	One side	焊道布置和焊接顺序(草图) Bead sequence details (sketch)	
双面焊 <input type="checkbox"/>	Double side		
母材牌号/交货状态: Parent metal temper/Specification			
母材厚度: Thickness		衬垫材料: Backing material	
母材预清洗方式: Preweld cleaning		焊后热处理: Post weld heat treatment	
焊前预热: Preheating		预热方法: Preheat method	
焊接设备的型号及编号: Welding equipment:		搅拌工具型号/图号 Weld tool drawing number	
过程控制方法: 位置控制 <input type="checkbox"/>		压力控制 <input type="checkbox"/>	
其它有关特殊要求*: Other information*			
焊接参数 Welding parameters			
轴向压力/压入量 Axial force ([kn])/Plunge depth (mm):		搅拌头转速 Spindle speed (r/min):	
搅拌头旋转方向 Direction of tool rotation:		倾角 Tilt angle (degrees)	
侧倾角 Side tilt angle (degrees)		焊接速度 Travel speed (mm/min)	
起驻时间 Dwell time (s)		接头间隙 Joint gap (mm):	

## 试验项目及结果 Test items and results

1. 非破坏性试验 Non-destructive examination			
目检 <input type="checkbox"/> Visual	射线探伤 <input type="checkbox"/> Radiography	超声波探伤 <input type="checkbox"/> Ultrasonic	渗透探伤 <input type="checkbox"/> Liquid penetrate
2. 破坏性试验 Destructive examination			
拉伸试验 Tensile tests <input type="checkbox"/>			

弯曲试验 Bend tests	正弯 Face <input type="checkbox"/>	反弯 Root <input type="checkbox"/>	侧弯 Side <input type="checkbox"/>
3. 宏观金相检查 Macro examination <input type="checkbox"/>			
4. 附加试验 Additional test(s)	接头金相照片 (×100 倍) <input type="checkbox"/> Metallograph of the joint (×100)		
	腐蚀试验 <input type="checkbox"/> Corrosion test		
	其他 <input type="checkbox"/> Others		

注: \*如有必要时 \*If required

适用 Applicable

不适用 Not applicable

签名:

**Signature**

制造厂代表

日期

Manufacturer \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

以下由验船师填写:

The following is to be filled in by the Surveyor:

上述焊接工艺计划书经审核, 同意按本焊接工艺计划书进行焊接工艺试验.....

The above-mentioned PWPS has been reviewed and implementation of WPT in accordance with this PWPS is approved.

上述焊接工艺计划书经审核, 审核意见如下: (请及时回复并与担当验船师联系).....

The above-mentioned PWPS has been reviewed with comments as follows: (Please reply and contact the attending Surveyor as soon as possible)

签名:

**Signature**

CCS 验船师

日期

CCS Surveyor \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

## 附录 C 推荐的焊接工艺评定表格

## 焊接工艺规程 (WPS)

## Welding Procedure Specification

焊接工艺名称及编号 Name and serial number	
支持工艺评定的WPQR(S) Qualified Supporting WPQR(S):	
制造厂名称及地址 Manufacture's name and address	
适用母材规格/材质: Base material range	
搅拌摩擦焊接方法: Friction stir welding method	坡口设计(草图) Test joint details (sketch with dimensions)
接头型式: Joint type	
单面焊 <input type="checkbox"/> One side	焊道布置和焊接顺序(草图) Bead sequence details(sketch)
双面焊 <input type="checkbox"/> Double side	
母材牌号/交货状态: Parent metal temper/Specification	
母材厚度: Thickness	衬垫材料: Backing material
母材预清洗方式: Preweld cleaning	焊后热处理: Post weld heat treatment
焊前预热: Preheating	预热方法: Preheat method
焊接设备的型号及编号: Welding equipment:	搅拌工具型号/图号 Weld tool drawing number
过程控制方法: 位置控制 <input type="checkbox"/> Position control	压力控制 <input type="checkbox"/> Force control
其它有关特殊要求*: Other information*	
焊接参数 Welding parameters	
轴向压力/压入量 Axial force ([kn])/Plunge depth(mm):	搅拌头转速 Spindle speed (r/min):
搅拌头旋转方向 Direction of tool rotation:	倾角 Tilt angle (degrees)
侧倾角 Side tilt angle (degrees)	焊接速度 Travel speed (mm/min)
起驻时间 Dwell time(s)	接头间隙 Joint gap ( mm):

注: \*如有必要时 \*If required

适用 Applicable不适用 Not applicable

签名:

Signature

制造厂代表

Manufacturer

CCS 验船师

CCS Surveyor

日期

Date

日期

Date

## 附录 D 推荐的焊接工艺记录

## 焊接工艺认可试验报告 (WPQR)

## Welding Procedure Qualification Record

焊接工艺名称及编号 Name and serial number	
制造厂名称及地址 Manufacture's name and address	
评定用试板规格/材质: Base material	
搅拌摩擦焊接方法: Friction stir welding method	坡口设计(草图) Test joint details (sketch with dimensions)
接头型式: Joint type	
单面焊 <input type="checkbox"/> One side 双面焊 <input type="checkbox"/> Double side	
焊道布置和焊接顺序(草图) Bead sequence details(sketch)	
母材牌号/交货状态: Parent metal Temper/Specification	
母材厚度: Thickness	衬垫材料: Backing material
母材预清洗方式: Preweld Ccleaning	焊后热处理: Post weld heat treatment
焊前预热: Preheating	预热方法: Preheat method
焊接设备的型号及编号: Weling equipment:	搅拌工具型号/图号 Weld tool drawing number
过程控制方法: 位置控制 <input type="checkbox"/> Position control	压力控制 <input type="checkbox"/> Force control
其它有关特殊要求*: Other information*	
施焊细节 Welding details	
轴向压力/压入量 Axial force ([kn])/Plunge depth(mm)::	搅拌头转速 Spindle speed (r/min):
搅拌头旋转方向 Direction of tool rotation:	倾角 Tilt angle (degrees)
侧倾角 Side tilt angle (degrees)	焊接速度 Travel speed (mm/min)
起驻时间 Dwell time(s)	接头间隙 Joint gap (mm):
焊工(焊接操作者)姓名 Welder's name	
相对湿度: Humidity:	环境温度: Temperature :

焊接工艺认可试验报告(续)  
**Welding Procedure Qualification Record (continued)**

试验项目及结果 **Test items and results**

<b>1. 非破坏性试验 Non-destructive examination</b>			
目检 <input type="checkbox"/> Visual	射线探伤 <input type="checkbox"/> Radiography	超声波探伤 <input type="checkbox"/> Ultrasonic	渗透探伤 <input type="checkbox"/> Liquid penetrate
<b>2. 破坏性试验 Destructive examination</b>			
<b>拉伸试验 Tensile tests</b>			
试样 Test piece	抗拉强度 Tensile strength(N/mm <sup>2</sup> )	断裂位置 Location of rupture	试验温度 Test temp.
横向拉伸 Transverse			
横向拉伸 Transverse			
横向拉伸 Transverse			
横向拉伸 Transverse			
<b>弯曲试验 Bend tests</b>			
试样 Test piece	压头直径/弯曲角度 Former / angle	结果 Result	备注
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
正弯/反弯/侧弯 Face / Root / Side			
<b>焊缝断面宏观检验(照片和结果) Macro examination</b>			
<b>附加试验 Additional test(s) and result(s)</b>			

注:  适用 Applicable 不适用 Not applicable

签名:

**Signature**

制造厂代表

日期

Manufacturer

Date

CCS 验船师

日期

CCS Surveyor

Date

附件

**Appendix**

为了保证焊接工艺认可试验的质量，并使其具有可追溯性，应提交下列文件的复印件(必要时也可进行增减)。

In order to insure the quality of welding procedure test and make it traceable, copies of the documents listed below are to be submitted .(Items in the list may be added or deleted as necessary).

文件清单

**List of Documents**

序号 No.	文件名称 Document name	页码 Page	备注 Remarks
1	母材质量证明书 Certification of base material		
2	无损检测报告 NDT reports		
3	试验原始记录(包括拉伸、弯曲等) Test source recording (Tensile tests, Bend tests, etc.)		
4	焊缝断面宏观检验报告(照片和结果) Macro examination reports (Photo and result)		
5	外观检查照片 Photos of weld surface		
6	力学性能试样照片 Photos of test pieces		
7	焊工(焊接操作者)CCS资格证书(如有时) Welder' certificate issued by CCS( if any)		

## 附录 E 铝合金搅拌摩擦焊“S”线现象

铝合金在搅拌摩擦焊接过程中极易出现“S”线现象，该现象产生主要是由于在搅拌摩擦焊焊接过程中，焊件对接面的氧化物、杂质等清除不彻底，或对接面的氧化物及焊缝附近的杂质等物质被搅拌针搅碎，在焊缝塑化金属流动成形过程中，呈连续分布所形成呈“S”形分布的氧化物条带。“S”线特征与塑化金属流动有关。因此，影响焊缝金属流动和成形的因素，如搅拌头形状、尺寸、搅拌头旋转方向以及焊接参数等都会显著影响“S”线的特征。同时“S”线很难用无损检测方法（RT、UT）探测到，只有用宏观金相检测才能有效检查到。

目前一般认为“S”线不会影响焊接接头性能，这可能与构成“S”线的氧化物颗粒的尺寸、密度及连接性有关，只有在一定条件下使得当氧化物颗粒在接头中的聚集达到一定程度时才会对焊后接头的性能产生影响，成为焊接结构件在实际应用过程中的潜在问题，因此在铝合金搅拌摩擦焊带筋板焊接制造过程中应尽可能减少或避免该缺陷的出现。