

团 体 标 准

T/CWAN 0043—2021

搅拌摩擦焊搅拌头设计及制造标准

Design and manufacturing standard of friction stir welding tool

2021-03-15 发布

2021-05-01 实施

中国焊接协会发布

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	搅拌头设计原则	3
4.1	搅拌针材料的选用原则	3
4.2	搅拌针设计	3
4.3	轴肩设计	4
4.4	过渡区域设计	5
4.5	夹持端设计	5
4.6	搅拌头尺寸公差设计	6
5	搅拌头制造规范	7
5.1	搅拌头制造流程	7
5.2	车铣加工	7
5.3	热处理	7
5.4	磨床加工	7
5.5	表面涂层加工	7
5.6	激光打标	7
5.7	检测规范	7
6	搅拌头包装、运输及存储规范	8
6.1	包装要求	8
6.2	运输规范	8
6.3	搅拌头的存储	8
	附录 A（资料性）	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：昆山哈工万洲焊接研究院有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、哈尔滨焊接研究院有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、上海凌云工业科技有限公司凌云汽车技术分公司、南昌航空大学、重庆科技学院、中车青岛四方机车车辆股份有限公司。

本文件主要起草人：万龙、树西、黄永宪、周军、黄体方、高祎晗、吕宗亮、李小林、刘鑫、何广忠、孟祥晨、陈玉华、尹立孟、谢聿铭、卢春晖、伍苗祁、夏石铃、张春波、乌彦全、徐锋、韩振宇、朱栋、王刚、谢吉林、张铁浩。

搅拌摩擦焊搅拌头设计及制造标准

1 范围

本文件规定了搅拌摩擦焊搅拌头设计、制造及使用技术条件。范围包括搅拌摩擦焊用的搅拌头设计及制造、焊接的一般要求、焊前准备、焊接工艺、焊后检验和试验以及安全要求等。

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 1804—2016 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法

GB/T 3375 焊接术语

GB/T 34630 搅拌摩擦焊 铝及铝合金

T/CWAN 0012—2019 焊接术语-压力焊

3 术语和定义

3.1

搅拌摩擦焊 friction stir welding, FSW

高速旋转的搅拌头扎入工件后沿待焊方向运动，在搅拌头与工件接触部位产生摩擦热和剧烈塑性变形热。使其附近金属形成塑性软化层，软化层在搅拌头旋转和锻压作用下填充搅拌针后方所形成的空腔，并在轴肩与搅拌针的搅拌及挤压作用下实现材料连接的固相焊接方法。

3.2

搅拌头 FSW Tool

搅拌摩擦焊接过程中由搅拌针和轴肩组成的旋转部件，对被焊材料施加搅拌摩擦效果的工具，属于搅拌摩擦焊的主要耗材之一。

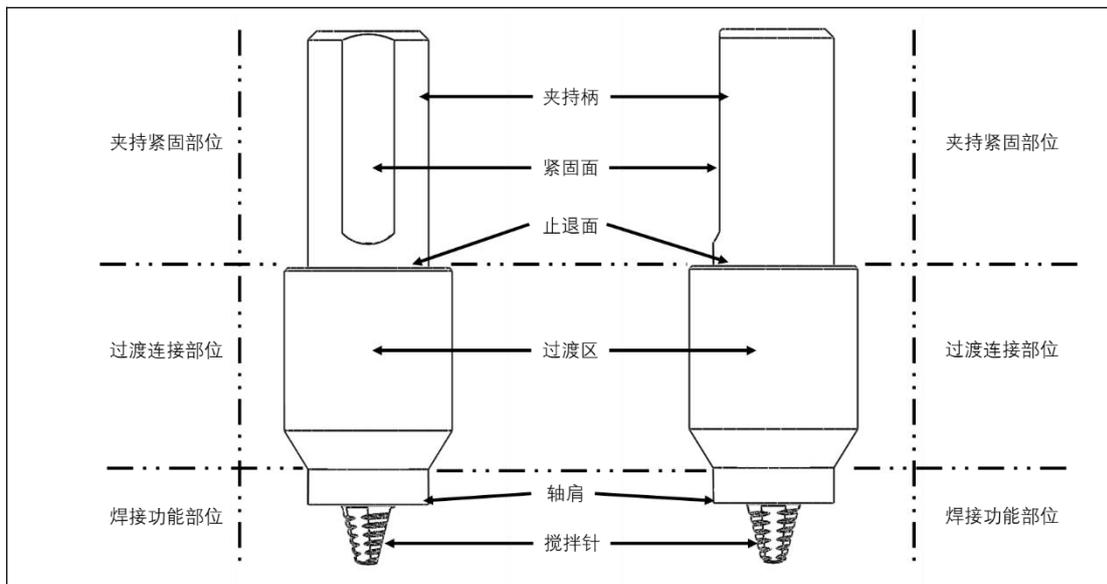


图 1. 常用搅拌头结构

3.3

搅拌针 probe

在焊接过程中，插入被焊接材料内部进行焊接，起到搅拌摩擦的作用，是搅拌摩擦焊热量来源之一，属关键功能部位，如图1所示。搅拌针有多种不同的型式，根据不同的焊接材料、不同的焊接接头型式、不同的焊接及其他相关要求选配。

3.4

搅拌针根部 probe root

搅拌针结构中靠近轴肩的部分，如图2所示，也是最容易出现搅拌头失效的位置之一。

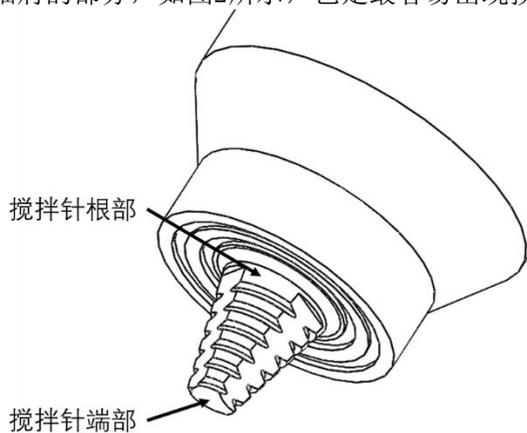


图 2. 搅拌针结构

3.5

搅拌针端部 probe tip

搅拌针结构中远离轴肩的部分，如图2所示。

3.6

轴肩 shoulder

与搅拌针根本相连，焊接时与焊接母材表面发生摩擦作用，并起到对塑性材料的包络作用，属关键功能部位，如图 1 所示，。搅拌针有多种不同的型式，根据不同的焊接材料、不同的焊接接头型式、不同的焊接及其他相关要求选配。

3.7

过渡连接部位 transition junction

如图 1 所示，连接轴肩与夹持柄部，属支撑辅助功能部位，可根据不同焊接工况调整其结构型式。

3.8

夹持紧固部位 clamping fastening part

如图 1 所示，夹持柄部及紧固面可根据不同的焊接设备调整其结构型式，属于搅拌头与设备的连接紧固部位。

3.9

止退面 backstop

如图 1 所示，止退面通常用于搅拌头与设备的轴向定位并防止在焊接过程中因受力而退缩造成焊接不良。

4 搅拌头设计原则**4.1 搅拌针材料的选用原则**

搅拌头材料需根据被焊材料及焊接深度选取，需考察材料的韧性、抗剪能力、耐高温性等性能。

现一般选取模具钢、高速钢、镍钴基合金、钨钼合金及 PCBN 等。

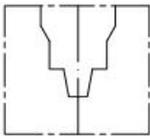
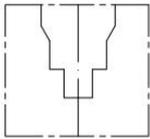
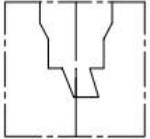
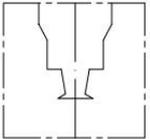
钢、镍钴基搅拌头使用前需进行调制处理，硬度满足在 45HRC-70HRC。

4.2 搅拌针设计

焊接时，搅拌针需插入被焊金属，对被焊材料起到搅拌、摩擦的作用，是搅拌头的功能区之一。在其设计中需满足焊缝金属的有效流动及内部产热。

4.2.1 搅拌针径向型式 A 及代号

表 1. 主要的搅拌针径向形式 A 及其代号

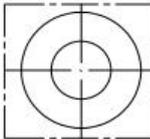
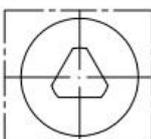
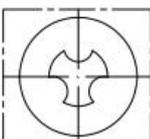
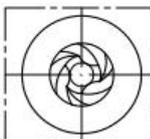
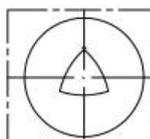
名称	圆锥	圆柱	偏心	尖部加粗
代号	1	2	3	4
图例				

搅拌针根据设计要求通常选取圆锥 1、圆柱 2、偏心 3、尖部加粗 4 等结构，以适应焊接要求。

4.2.2 搅拌针轴向型式 B 及代号

搅拌针轴向形式的设计主要考虑搅拌头在焊接时可以满足带动被焊材料塑性流动的需求，根据需要选择圆形 1、三棱面 2、轴向槽 3、螺旋槽 4、偏心圆 5 等。

表 2. 搅拌针轴向形式 B 及代号

名称	圆形	三棱面	轴向槽	螺旋槽	偏心圆
代号	1	2	3	4	5
图例					

4.2.3 针长设计

为保证焊接深度与产品设计一致，应选取合适的搅拌针针长。

一般针长 $L = \text{焊接深度 } H - (0.2 \sim 0.3) \text{ mm}$

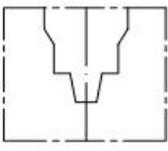
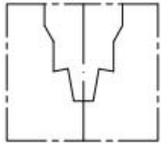
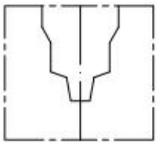
4.3 轴肩设计

轴肩作为搅拌头的主要功能区之一，起到了包络塑性金属、加强表面塑性流动、提供焊缝热输入等功能。

4.3.1 轴肩径向型式 C 及代号

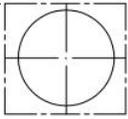
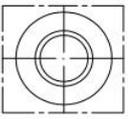
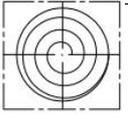
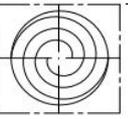
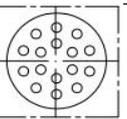
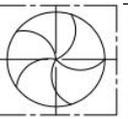
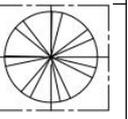
搅拌头轴肩根据设计需要，选择平面轴肩 1、内凹轴肩 2、外凸轴肩 3。其中焊接三维曲面时，应选择外凸轴肩 3。

表 3. 搅拌头轴肩径向型式 C 及代号

名称	平面	内凹	外凸
代号	1	2	3
图例			

4.3.2 轴肩端面形貌设计 D 及代号

表 4. 轴肩端面形貌设计 D 及代号

名称	无槽式	同心环槽	单螺旋槽	双螺旋槽	星状式槽	花瓣式槽	放射状槽
代号	1	2	3	4	5	6	7
图例							

其中 3、4 的轴肩端面设计可不切至端面外圆。

4.3.3 轴肩尺寸设计

在搅拌头设计中,轴肩尺寸决定了搅拌头对焊缝中的塑性材料的包络作用及焊接热输入。

焊接深度在 1-16mm 铝合金搅拌头轴肩尺寸设计建议采用如下尺寸,如图 5 所示。

4.4 过渡区域设计

过渡区的设计需根据所焊产品结构及搅拌头材料状态选取不同结构的过渡区域。

4.5 夹持端设计

夹持端设计需根据焊机、加工中心及铣床要求选取合适的夹持端。

表 5. 焊接 1-16mm 铝合金搅拌头轴肩尺寸设计

焊接深度 (mm)	轴肩尺寸 (mm)																																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
1.0																																				
1.5																																				
2.0																																				
2.5																																				
3.0																																				
3.5																																				
4.0																																				
4.5																																				
5.0																																				
5.5																																				
6.0																																				
6.5																																				
7.0																																				
7.5																																				
8.0																																				
8.5																																				
9.0																																				
9.5																																				
10.0																																				
11.0																																				
12.0																																				
13.0																																				
14.0																																				
15.0																																				
16.0																																				

4.6 搅拌头尺寸公差设计

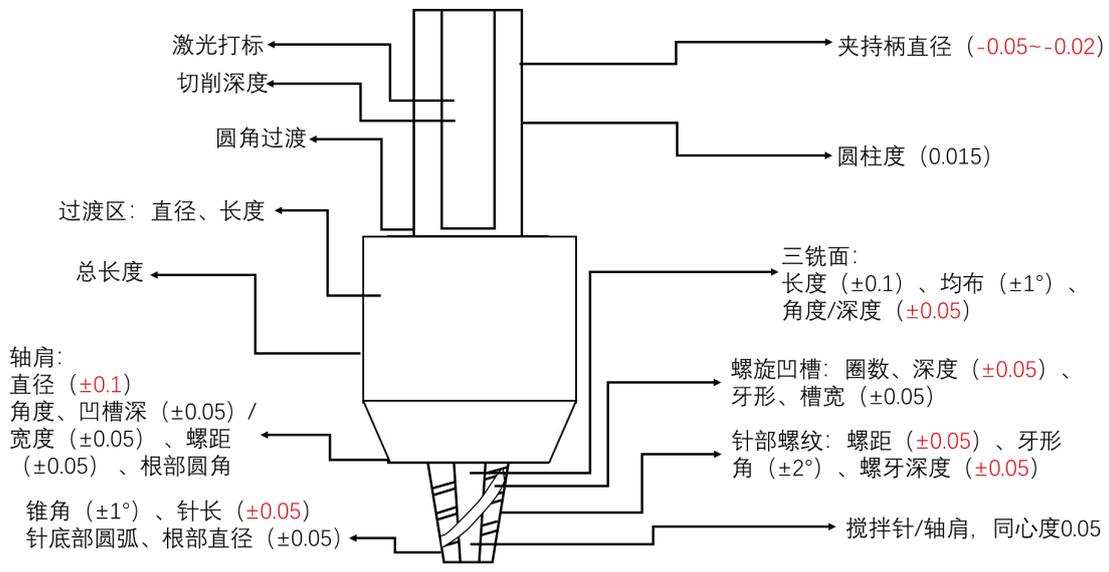


图 3. 搅拌头尺寸公差设计

5 搅拌头制造规范

5.1 搅拌头制造流程

根据搅拌头材料热处理后的硬度选择搅拌头的制造流程。

其中硬度 $<55\text{HRC}$ 时，制造流程为：

搅拌头外圆粗加工（车/铣/磨）→热处理→精加工（车/铣/磨）

硬度 $\geq 55\text{HRC}$ 时，制造流程为：

搅拌头外圆粗加工（车/铣/磨）→精加工（车/铣/磨）→热处理→外圆磨

5.2 车铣加工

车铣加工制作产品外圆、螺纹、内孔等精细尺寸，一般精度为 $0.01\text{-}0.05\text{mm}$ 。

5.3 热处理

热处理工艺为材料在固态下，通过加热、保温和冷却的手段，以获得预期组织和性能的一种金属热加工工艺。在搅拌头制作中起到提高金属材料的强度、硬度及一定的韧性。

5.4 磨床加工

磨床工艺一般为搅拌头制作工艺的最后一步，起到了提高产品美观度、更高的尺寸精度，一般外圆精度 $1\ \mu\text{m}\text{-}5\ \mu\text{m}$ 。

5.5 表面涂层加工

搅拌头表面涂层加工区域可采用局部功能区域喷涂和整体喷涂两种；

为保证钢制搅拌头在涂层加工时保证热处理后的硬度，建议采用PVD涂层，并且加工温度在 500°C 以内。

5.6 激光打标

为保证搅拌头的快速识别，建议在搅拌头不易磨损及耐腐蚀区域使用激光打标的方式进行标识。

5.7 检测规范

搅拌头为高精密零件，在制作完成后需要对其关键尺寸进行细致检测。

其外形检测需使用卡尺、千分尺、三坐标、二次元等尺寸测量工具进行检测；其细微尺寸需使用二次元及轮廓度仪等高精密测量工具进行检测。检测未注公差的尺寸按照未注公差

的公差标准 GB/T 1804-2016 进行检测，其中功能区精度为 m 级，非功能区尺寸精度为 e 级。

6 搅拌头包装、运输及存储规范

搅拌头为高精密的焊接耗材，其包装及运输需要注意其规范化。

6.1 包装要求

搅拌头的包装应注意其在运输颠簸状态和腐蚀性环境下的仍可保持原始的外观及焊接能力，需要注意以下几点：

- 6.1.1 搅拌头应放置于稳定性良好的包装盒内，保证其不会因颠簸发生位移；
- 6.1.2 包装材料应选取合适硬度、塑性的材料，保证其不会在意外情况下逸出包装盒，造成包装失效；
- 6.1.3 搅拌头功能区域（搅拌针、轴肩）、装夹区域为重要保护区域，需使用特殊方式进行保护（如增添保护泡棉或保护套等方法）；
- 6.1.4 在湿度较大或腐蚀环境下，应增添防腐手段（增加干燥剂和涂防锈油等）；

6.2 运输规范

为保证搅拌头在运输途中不会因运输颠簸磕碰、海水腐蚀等因素引起的焊接失效，在运输途中尽量选取颠簸少、耗时短、低腐蚀性环境的运输方法。

在运输过程中需要标注向上、怕湿、小心轻放等标志

6.3 搅拌头的存储

搅拌头存储的位置应保持干燥及不易触碰的位置，并且采取一定的防尘措施。

附 录 A

(资料性)

搅拌头使用方法及安全要求

1 搅拌头使用规范

1.1 焊前装配

搅拌头在使用时需装配至搅拌摩擦焊专用焊机、CNC 加工中心、龙门铣床等设备上紧固，紧固方式按照设备刀柄的要求，保证在主轴高速旋转下不会出现掉落的现象。

使用时，按照图纸要求进行工艺对刀，并进行空走调试，保证不会发生结构干涉。

1.2 焊接过程

焊接时需持续观察搅拌头运转情况。

1.3 焊后处理

焊后，佩戴隔温手套取下焊后的搅拌头，放置专用位置空冷至室温后装入搅拌头外置包装。

如焊后有被焊材料残留需使用化学或机械方法去除。

2 安全要求

2.1 焊接操作过程中操作人员应在安全区域内，戴好安全帽并戴防护眼镜和隔音耳塞；

2.2 操作人员在焊接过程中戴防尘口罩；

2.3 焊接过程中禁止接触搅拌头和焊缝；

2.4 焊接结束，搅拌头停止旋转后，需佩戴隔温手套进行安装、拆卸搅拌头及产品搬运工作，防止烫伤。