

ICS 32.020
T40

团 体 标 准

T/CSAEXX—2020

汽车用铝及铝合金搅拌摩擦焊技术条件

Technical conditions for friction stir welding of aluminum and aluminum alloys in automobile

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

中国汽车工程学会 发布

目次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	4
4.1 人员	4
4.2 环境	4
4.3 母材	4
5 焊前准备	5
5.1 接头型式	5
5.2 接头选择	5
5.3 加工要求	5
6 焊接工艺	6
6.1 焊前清理	6
6.2 搅拌头选择原则	6
6.3 焊件安装	6
6.4 工艺参数的选择和制定	6
6.5 焊接	7
7 焊后检验和试验	7
7.1 表面质量	7
7.2 内部质量	7
7.3 力学性能	7
7.4 焊后处理	7
8 安全要求	8

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由汽车轻量化技术创新战略联盟提出。

本标准由中国汽车工程学会批准。

本标准由中国汽车工程学会归口。

本标准主要起草单位：北京科技大学、东北大学、国汽（北京）汽车轻量化技术研究院有限公司、中航工业北京航空制造工程研究所、中信戴卡股份有限公司、广汽新能源汽车有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司。

本标准主要起草人：江海涛、蔺宏涛、吴彦欣、武晓燕、刘建华、王利刚、孟强、王怡嵩、木清弘、张亚男、周青华、丁桦、李军、黄亚烽等。

汽车用铝及铝合金搅拌摩擦焊技术条件

1 范围

本标准规定了汽车用铝及铝合金搅拌摩擦焊的一般要求、焊前准备、焊接工艺、焊后检验和试验以及安全要求等。

本标准适用于汽车常用牌号和状态的铝及铝合金的搅拌摩擦焊。其他系列铝合金搅拌摩擦焊也可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

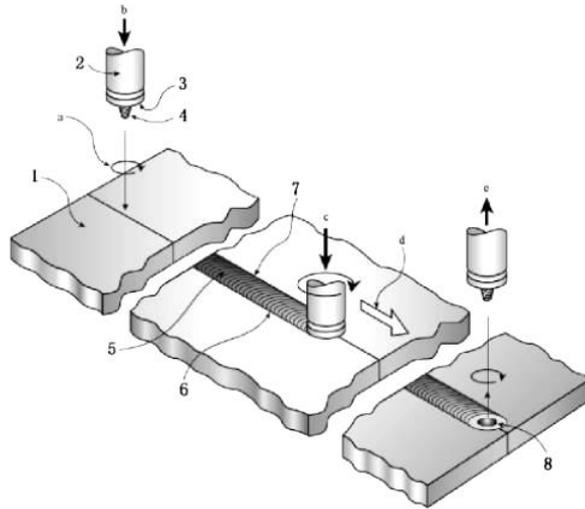
- GB/T 1173 铸造铝合金
- GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法
- GB/T 3190 变形铝及铝合金化学成分
- GB/T 3246.2 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第2部分：低倍组织检验方法
- GB/T 3323 金属熔化焊焊接接头射线照相
- GB/T 3375 焊接术语
- GB/T 3880 一般工业用铝及铝合金板、带材
- GB/T 6892 一般工业用铝及铝合金挤压型材
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分：总则
- GB/T 27551 金属材料焊缝破坏性试验 断裂试验3 术语和定义
- GB/T 27552 金属材料焊缝破坏性试验 焊接接头显微硬度试验
- GB/T 32259 焊缝无损检测 熔焊接头目视检测
- GB/T 34630 搅拌摩擦焊 铝及铝合金

3 术语和定义

GB/T 34630 搅拌摩擦焊 铝及铝合金 界定的术语和定义适用于本标准。

3.1 搅拌摩擦焊 friction stir welding, FSW

利用高速旋转的搅拌头插入被焊材料后沿焊接方向运动，搅拌头与焊接材料产生摩擦热，使材料达到热塑性状态，实现工件间固相连接的焊接方法，见图1。



说明：1——母材；2——搅拌头；3——轴肩；4——搅拌针；5——焊缝表面；6——后退侧；7——前进侧；8——匙孔。

a——搅拌头旋转方向（顺时针/逆时针方向）；b——搅拌头下压；c——轴向压力；d——焊接方向；e——搅拌头上提。

图1 搅拌摩擦焊原理示意图

3.2 搅拌头 tool

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2。

3.3 搅拌针 probe

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，见图2。

3.4 轴肩 shoulder

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，见图2。

3.5 焊接垫板 backing plate

为支撑零件和焊缝金属，承受搅拌头轴向压力，在焊缝金属背部预置的一种刚性衬托装置，见图2。

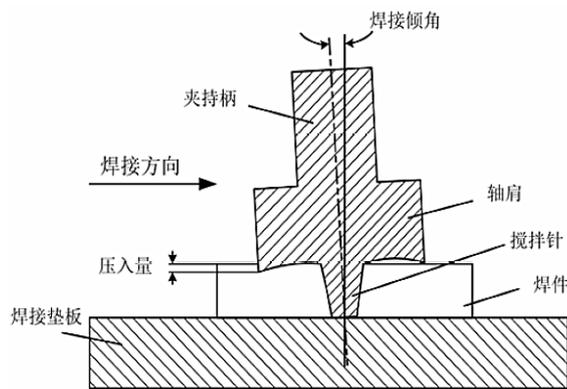


图2 搅拌摩擦焊示意图

3.6 焊接倾角 tilt angle

搅拌头轴线与工件表面法线之间的夹角，见图2。

3.7 压入量 heel plunge depth

焊接过程中，搅拌头的轴肩最低点压入母材表面的深度，见图2。

3.8 匙孔 exit hole

搅拌头上提之后，留在焊缝末端的孔，见图1。

3.9 前进侧 **advancing side**

搅拌头旋转线速度方向和焊接方向一致的焊缝侧，见图1。

3.10 后退侧 **retreating side**

搅拌头旋转线速度方向与焊接方向相反的焊缝侧，见图1。

3.11 搅拌头旋转速度 **welding speed**

单位时间内搅拌头的旋转次数，单位：转每分钟（rpm）。

3.12 焊接速度 **welding speed**

单位时间内完成的焊缝长度，单位：毫米每分钟（mm/min）。

3.13 热影响区 **heat affected zone**

搅拌摩擦焊接头中只受到焊接热循环的作用而发生金相组织和力学性能变化的区域。

3.14 热-机械影响区 **thermo-mechanically affected zone**

搅拌摩擦焊接头中受到焊接热和机械变形的联合作用而发生塑性变形的区域。

3.15 焊核区 **weld nugget/stir zone**

搅拌摩擦焊接头中受搅拌针的旋转、摩擦、搅拌、挤压而形成的再结晶区。

3.16 飞边 **toe flash**

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。

3.17 引入板、引出板 **import/export plate**

为了确保零件上的全尺寸焊缝，不在焊件上留下焊缝起始段、末尾段和尾孔，允许在搅拌头进出零件的两端设置与零件同材料、等厚度的工艺板称为引入板和引出板。焊接从引入板上开始，在引出板上终止，焊后加工掉。

3.18 未焊透缺陷 **incomplete penetration defect**

搅拌摩擦焊接后，焊缝根部未完全焊合的部分，见图3。

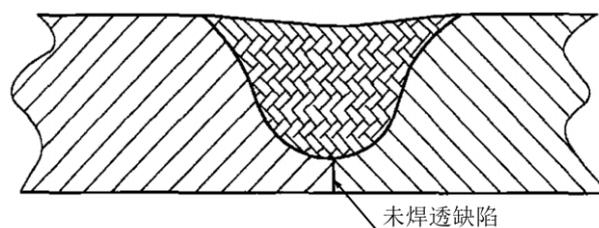


图3 未焊透缺陷示意图

3.19 弱连接 **kissing bonding**

在焊缝根部塑性变形区域产生的被连接材料间紧密接触但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的焊接缺陷，见图4。

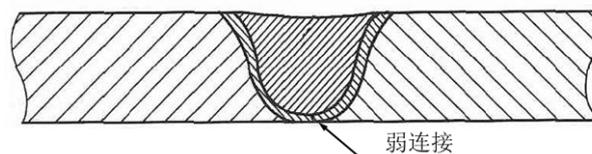


图4 弱连接缺陷示意图

3.20 隧道型缺陷 **channel defect**

沿焊接方向塑性金属流动未填满焊缝所形成的类似隧道的孔洞，见图5。

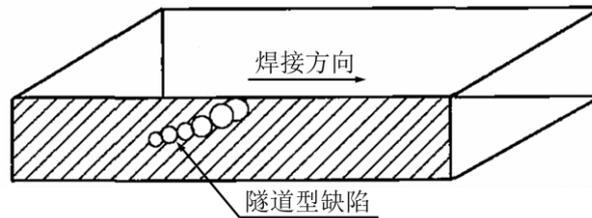


图5 隧道型缺陷示意图

3.21 表面沟槽 surface furrow

焊缝表面出现的类似沟槽的缺陷，见图6。

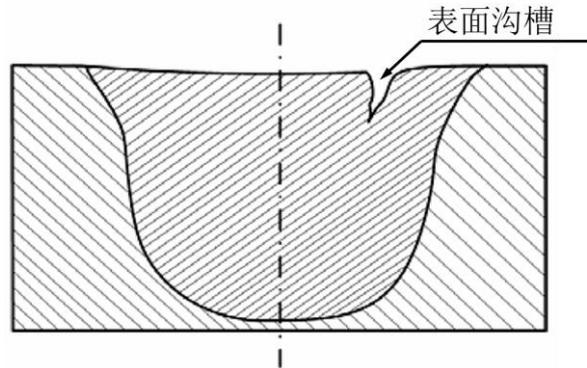


图6 表面沟槽示意图

4 一般要求

4.1 人员

从事汽车用铝及铝合金搅拌摩擦焊接的操作人员必须经过相应的搅拌摩擦焊专业培训和考核，并通过相应考核、鉴定和认证，取得上岗证书后方可上岗操作。

4.2 焊接设备

4.2.1 焊接设备及其附件应完好，并在有效期内。

4.2.2 用于产品生产的设备应为搅拌摩擦焊专用设备。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，能在选定的参数下温度的工作，并在鉴定期内保持合格状态。

4.2.3 属于下列情况的搅拌摩擦焊设备，投入生产前，应对焊机进行工艺性鉴定，鉴定合格后，挂“合格证”标签，方可投入生产使用。

- a) 新焊机安装后；
- b) 焊机移地安装后；
- c) 焊机大修后；
- d) 影响焊接参数的元器件更换后。

4.2 环境

搅拌摩擦焊接场所应保持洁净和通风良好，无腐蚀性气体介质，环境温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于85%。

4.3 母材

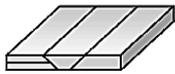
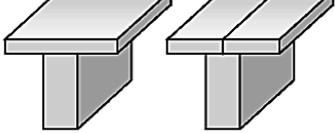
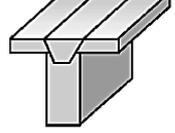
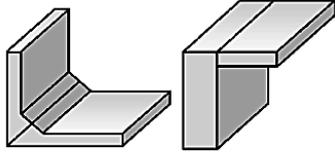
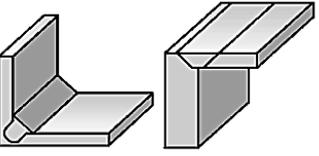
汽车用铝及铝合金应符合GB/T 3190，GB/T 1173，GB/T 3880，GB/T 6892或其他相关标准的规定。材料表面不应存在裂纹、夹杂缺陷，其他表面质量满足设计方提供的技术文件或技术协议的要求。

5 焊前准备

5.1 接头型式

汽车用铝及铝合金的搅拌摩擦焊接头可采用对接、搭接、角接、T型接头等型式，见表1。

表1 焊接接头的形式

接头形式	焊 前	焊 后
对接与搭接 组合接头		
板对接接头		
锁底接头		
T型接头		
搭接接头		
角接头		
管对接接头		

5.2 接头选择

汽车用铝及铝合金进行焊接时，应根据结构特点、受力情况，采用不同的接头型式，焊缝位置的设计应避免应力集中。

5.3 加工要求

5.3.1 汽车用铝及铝合金对接接头焊接断面不应有裂纹、夹杂等缺陷。边缘应去毛刺，保持棱角，端面机械加工面表面粗糙度 R_a 值应不大于 $6.3\ \mu\text{m}$ 。

5.3.2 汽车用铝及铝合金搭接接头的搭接面为轧制状态或机械加工状态，机械加工面的表面粗糙度 R_a 值不应

大于6.3 μm。

5.3.3 接头对接面或搭接面加工齐平，材料表面需去除氧化皮和包铝层，具体技术要求见表2。

表2 接头表面加工要求

项目	表面粗糙度	焊件表面的平面度	接缝直线度	垂直度（相对焊件表面）/焊件厚度
技术要求	6.3μm	0.6mm/m ²	0.6mm/m	0.12mm/10mm、0.2mm/20mm、 0.25mm/30mm

5.3.4 对接接头厚度差焊件厚度 $\delta \leq 10\text{mm}$ 时，I级焊缝表面允许焊件厚度差为 0.02δ ；II、III级焊缝允许厚度差为 0.03δ ；焊件厚度 $>10\text{mm}$ ，允许厚度差 $\leq 0.4\text{mm}$ 。

6 焊接工艺

6.1 焊前清理

焊前按照焊接工艺规程进行焊接部位清理，去除母材表面的氧化物、保护涂层、胶粘剂、油污、油脂、污垢，以及其他对焊缝质量有害的污染物。

6.2 搅拌头选择原则

6.2.1 焊接前，搅拌头应确保清洁，没有对焊缝有不良影响的污染物（例如：油污、油脂和污垢）存在。

6.2.2 焊接前，应按要求定期对搅拌头形状及其磨损程度进行检验，确保其符合相关设计、工艺文件和规范的要求。

6.2.3 根据焊件的材料和厚度选择搅拌头，对接焊时搅拌针的长度一般小于焊件厚度 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ，搭接焊时搅拌针的长度根据实际焊接工艺要求设定。

6.3 焊件安装

6.3.1 焊前接缝贴紧、对齐和压平，厚度 $\delta \leq 10\text{mm}$ 的板材局部间隙不得超过 0.1δ ；厚度 $\delta > 10\text{mm}$ 间隙不超过 1mm 。底部进行刚性支撑，焊件两侧通过工装夹具施加压紧力和侧向顶紧力。

6.3.2 在焊件安装过程中，在进行同种或性能相似材料焊接时，采用对中方式焊接并检查搅拌针对中接缝情况，并调整对中偏差，厚度 $\delta \leq 10\text{mm}$ 的板材，对中偏差 $\leq 0.5\text{mm}/\text{全长}$ ；厚度 $\delta > 10\text{mm}$ 时，对中偏差 $> 0.8\text{mm}/\text{全长}$ ；在进行异种材料或性能相差较大的材料焊接时，可以采用非对中方式焊接，具体偏置方式根据实际情况制定。

6.4 工艺参数的选择和制定

6.4.1 焊接的基本工艺参数包括：搅拌头型号和材质、搅拌头旋转速度、焊接速度、压入量、焊接倾角、横向偏移量、起驻时间和停驻时间等。每次试制或批量生产焊接前，准备与被焊材铝合金牌号、热处理状态和厚度相同的试片或模拟件，进行焊接工艺参数的制定。

6.4.2 发生下列任一情况时，应按6.4.1重新确定焊接工艺参数：

- a) 材料牌号、厚度等发生变化；
- b) 焊接设备更换、大修或停止使用一年以上等；
- c) 更换工装或改变产品结构；
- d) 由于焊接工艺参数的原因出现不合格产品。

6.5 焊接

焊接正式零件前，按确定的工艺参数焊接试件，检查焊接质量，验证焊接工艺参数并作好记录。按验证过的工艺参数焊接正式零件。

7 焊后检验和试验

7.1 表面质量

7.1.1 焊缝表面质量应100%进行目视检测，焊缝表面不允许有渣皮、表面沟槽及背面穿透缺陷，目视检测按GB/T 32259进行检测。未焊透及焊接塌陷尺寸应符合表2规定。

表2 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	≤ 1.0 或 0.1δ	≤ 1.0 或 0.15δ
	当 $\delta > 10$	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.5
焊接塌陷	当 $\delta \leq 10$	≤ 0.2	≤ 1.0 或 0.1δ	≤ 1.5 或 0.15δ
	当 $\delta > 10$	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 2.0

备注：1. δ 为焊件厚度 2. 两个数取其较小值

7.1.2 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。

7.2 内部质量

7.2.1 焊缝内部不允许有裂纹，焊缝内部允许的隧道型缺陷应符合表3的规定。

表3 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	$\delta \leq 10$	≤ 0.1	≤ 0.15	≤ 0.2
	$\delta > 10$	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.4

备注： δ 为焊件厚度

焊后零件可以采用无损检测或低倍金相检验等方法进行内部质量检测，检测方式可根据具体情况进行选择。

7.2.2 渗透检测按GB/T 18851.1和GB/T 26953进行检测。

7.2.3 X射线检测按GB/T 3323进行检测。

7.2.4 超声检测按GB/T 11345进行检测。

7.2.5 接头的低倍金相检验按GB/T 3246.2进行检测。

7.3 力学性能

力学性能检验应符合产品图样或技术文件的要求。

7.3.1 拉伸试验和拉伸试样制备按GB/T 2651进行检测。

7.3.2 弯曲试验和弯曲试样制备按GB/T 2653进行检测。

7.3.3 硬度试验根据需要按照GB/T 2654或GB/T 27552进行检测。

7.3.4 断裂试验按照GB/T 27551进行检测。

7.4 焊后处理

7.4.1 超出工艺要求的飞边、起皮等缺陷，允许用机械方法进行修整，去除部位应圆滑过渡。

7.4.2 焊接缺陷的修补应在热处理和精加工前。焊接缺陷允许用搅拌摩擦焊重焊的方法进行修补，对于I、

II级焊缝，焊后应重新进行无损检查。

7.4.3 根据零件接头力学性能要求，可按图样或要求进行焊后热处理。

8 安全要求

8.1 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。

8.2 操作人员在焊接过程中戴防尘口罩和手套。

8.3 装卸搅拌头和零件时防止烫伤。

8.4 焊接过程中禁止接触搅拌头和焊缝。