



FSW设备在矫正铝合金车体侧墙板焊接变形中的应用

吴锐 梁涛

【摘要】 本文叙述了搅拌摩擦焊焊接铝合金车体侧墙板时产生变形的原因和工艺难点，以及利用搅拌摩擦焊设备矫正变形的新工艺方法。

1. 概述

搅拌摩擦焊（FSW）这种连接技术与传统概念中的摩擦焊方法相似，焊接过程没有被焊材料的熔化，形成的是固相接头。作为新的连接工艺，以其残余应力低、工件不易变形、生产成本低及安全环保等优点，在有色金属连接中开始得到广泛应用。

公司引进的FSW设备主要应用于侧墙、地板等表面焊缝呈直线的大部件的组焊。在生产中发现，虽然搅拌摩擦焊接具有以上优点，但焊接变形仍不可避免，要达到产品技术要求，在制造过程中仍需采用一定的工艺措施对变形进行矫正和控制。

本文以WH2项目的铝合金鼓形车体的侧墙板为例，叙述了在生产中应用FSW设备对变形进行矫正的工艺措施。

2. 侧墙板结构及工艺难点

(1) 侧墙板结构 如图1所示，WH2项目的侧墙板由平面型材和弯曲型材运用搅拌摩擦焊纵

向组焊而成。

(2) 工艺难点 如图2测量位置所得结果如表1所示，从表1的检测数据可以看出，铝合金侧墙板焊接完后轮廓度不是很理想（技术要求 $\leq 3\text{mm}$ ），变形是比较严重的，为了不影响车体外观，需要通过后工序的矫正才能

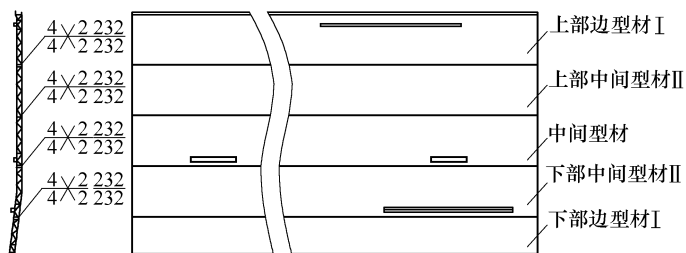


图1 WH2项目的侧墙板组焊示意

(2) 在焊缝附近位置残余压应力较大，可以压制凸筋提高其局部稳定性，防止局部失稳产生塌陷、鼓起。

(3) 分步调控构件内残余应力分布，避免后道工序内应力叠加后，因外力介入而集中释放引起构件的二次变形。经验证，采用木锤敲击主焊缝附近位置，可以提前释放部分残余应力。

(4) 采取喷砂除锈工艺，需要调整相关工艺参数；在达到除锈的目的下，控制外力介入程度，减小附加残余压应力，避免应力叠加或集中释放引起构件二次变形。

参考文献：

[1] 方洪渊. 焊接结构学[M]. 北京：机械工业出版社，

2008：96-98.

[2] 宋天民. 焊接残余应力的产生与消除 [M]. 北京：中国石化出版社，2005.

作者简介：王泉成等，郑州宇通重工有限公司。

MW 20160516

达到技术要求。

3. 影响变形的因素

工件焊后产生变形主要有表面波浪变形和板边缘翘曲，是由于残余应力造成的，而在组焊过程中产生残余应力的因素有以下几点。

(1) 残余内应力的影响 在搅拌摩擦焊焊接过程中，搅拌头与工件摩擦产生热使金属处于高温塑性状态，在拘束条件下冷却后很容易产生残余应力。同时搅拌摩擦焊中刚性夹具需要施加更大的约束力，来防止焊接过程中工件与工作台的相对运动以及焊后的工件变形。约束力可以阻止因焊核以及焊缝两侧的焊接热影响区冷却产生的收缩，使焊缝和热影响区产生残余应力。

(2) 装配质量的影响 装配间隙大（要求装配后焊缝间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 、错边量 $\leq 0.3\text{mm}$ ），会造成焊接速度慢，热输入量大，变形也就越大，反之亦然。

(3) 焊接夹具的影响 焊接夹具的压力大小、支撑和压紧的位置对工件的约束力会造成影响，进而影响到工件的焊接变形。支撑点和压臂的位置如图3和图4所示。

综上所述，对搅拌摩擦焊而言，焊接变形的产生除与局部加热和快速冷却在焊缝及近缝区产生的热应变和压缩塑性应变相关外，还与焊接过程外部机械载荷作用密不可分，塑性变形的产生进而导致内应力的出现，最终形成构件的变形。

4. FSW设备在矫正变形中的应用

(1) 矫正原理 从搅拌摩擦

焊的原理可以知道，设备上的搅拌头由于在焊接过程中对焊接区域的材料具有向下挤压和侧向挤压的倾向，所以被焊工件要夹装背垫和夹紧固定，以便承受搅拌头施加的轴向力、纵向力（沿着

焊接方向）以及侧向力。同时，搅拌摩擦焊这种连接技术与传统概念中的摩擦焊方法相似，焊接过程没有被焊材料的熔化，形成的是固相接头。其中搅拌头由特殊形状的搅拌指棒和轴肩组成，

表1 矫正前的检测数据 (mm)

测量点 \ 焊缝	1	2	3	4	5	6
A	-8	5	10	3	-5	-9.5
B	-5	6	11	5	-6	-10
C	-6	7	11	8	-7	-12
D	-6	5	12	6	-4	-15
E	-8	8	12	2	-4	-8
F	-8	6	10	2	10	-8

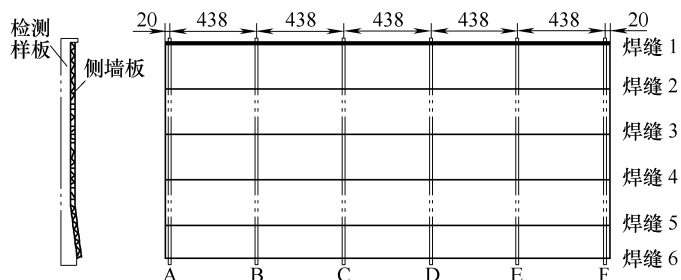


图2 正面组焊示意

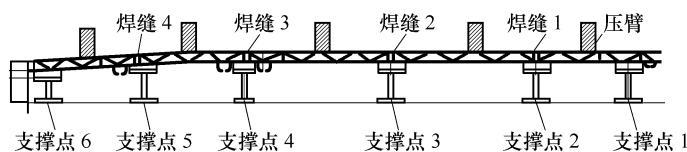


图3 侧墙板正面测量点示意

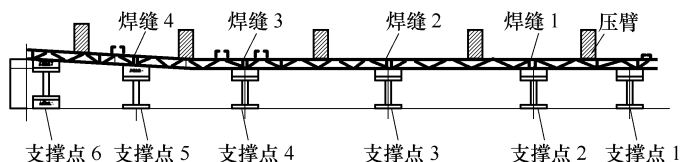


图4 反面组焊示意

表2 矫正设备和方法

1	矫正设备	1. 动龙门搅拌摩擦焊接设备FSW—5DLM—010 2. 平搅拌头（没有搅拌针的搅拌头）	
2	矫正方法	利用平搅拌头在凸起区域的焊缝上重新压一次	

轴肩的直径大于特形搅拌指棒的直径，在焊接过程中轴肩与被焊材料的表面紧密接触，防止塑化金属材料的挤出和氧化，同时搅拌轴肩还可以提供部分焊接所需要的搅拌摩擦热。

矫正变形原理是采用加热或施加外力的方法使工件产生新的变形去抵消已有变形，从而达到矫正的目的。

综上所述，如果参数设置合理，让FSW设备对已经变形工件在合适位置重新施加外力和让焊缝区重新受热一次，就能够产生新的变形，达到矫正原有变形的目的。

(2) 矫正工艺 第一，矫正设备与方法如表2所示。

第二，选择矫正位置。用检测样板检查侧墙板的轮廓度，确定上凸或下凹的变形区域，因为侧墙板由中空挤压型材组焊而成，因此将变形区域内的拼接焊缝作为矫正位置（即将变形凸起区域内的焊缝用平搅拌头重新压一次）。

第三，矫正的先后顺序。先矫正平面或变形量大的区域，再矫正曲面或变形量小的区域。

第四，设备运行参数的设置。设备运行参数直接影响到矫正的效果，搅拌头的转速、移动速度以及压入量等设备运行参数一般在正常值的±20%范围内，并根据变形量的大小来调节。变形量较大时减慢移动速度或增加压力值，变形量小时增加移动速度或减小压力值。对WHL2项目的侧墙板，我们总结出的工作运行参数如表3所示。

(3) 效果 表4为矫正后的

检测数据，通过与表1对比可以看出，矫正效果明显，能够达到技术要求。

5. 效益和优势

(1) 经济效益 通过表5可以看出，与火焰矫正相比，利用FSW设备对侧墙板进行矫正，生产效率提高70%，生产成本下降86%。

(2) 优势 FSW设备对侧墙板进行矫正，属于利用机械设备进冷矫正，与火焰矫正相比具有以下优势：采用数控设备对被焊件进行机械矫正，参数易实现标准化，降低了操作难度；虽然矫正过程中有一定温度产生，但远低于材料的熔化温度，不影响材

料性能；操作过程中不使用易燃易爆气体，没有安全隐患；采用机械矫正，操作者劳动强度低，工作环境好。

6. 结语

搅拌摩擦焊接属于新的连接工艺，在工作过程中需要我们不断钻研来掌握操作技巧和克服应用中遇到的困难。本文根据工作实践，对搅拌摩擦焊焊接铝合金车体侧墙板过程中产生变形的原因做了分析，总结出了利用FSW设备矫正变形的工艺措施，提高了工作效率和产品质量，降低了生产成本，并为今后生产类似产品提供了可借鉴的经验。

表3 FSW设备矫正时运行参数设置

搅拌针扎入数据							
压入量 /mm	扎入速度 /mm.min ⁻¹	A角	B角	搅拌头转速 /r.min ⁻¹	搅拌头旋 转方向	焊接 方式	停顿时间 /s
-0.1	80	0	0	1500	反转	通常	1
矫正数据							
控制		安全保护值 /mm		搅拌头转速 /r.min ⁻¹		力 /kN	
力		-14		1500		10	
移动数据							
X /mm	Y /mm	A角	B角	焊接速度 /mm.min ⁻¹		方式	停顿时间 /s
2400	0	0	0	2000		激光 跟踪	1

表4 矫正后的检测数据 (mm)

支撑点 测量点	1	2	3	4	5	6
A	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	1
B	1	2	0.3	0.4	0.2	1.4
C	1.1	2	0.2	0.4	0.3	2
D	0.5	0.5	0.2	0.3	0.2	2.8
E	0.5	2	1	0.8	1.1	2
F	1.6	2	0.5	1	1.1	2.2

表5 经济效益对比

矫正方法	效果	矫正辅助工具	生产效率 (按8h计算)	生产成本 (每节车10块)
火焰矫正	有	液压千斤顶、手锤	10块	1组氧气-乙炔，成本约50元
FSW设备矫正	有	无	17块	用电12kW·h，成本7元左右

作者简介：吴锐等，中车株洲电力机车有限公司技师协会。

MW 20160517