

1mm不锈钢波纹板与弯梁焊接工艺研究

张洪逵, 刘凯, 杜涛, 王路, 魏泽鹏, 王军, 彭如星, 周成功, 陈岩

中车南京浦镇车辆有限公司 江苏南京 210031

摘要: 研究了1mm带有封头的异形结构波纹板与3mm弯梁搭接结构的焊接工艺, 分析了其结构特性及现有焊接工艺。目前, 工艺难点是要同时完成圆弧搭接焊、带有封头的异形接头搭接焊, 易造成多处焊接缺陷且返修时间长, 影响实际产品质量及生产效率。通过对焊接工艺进行优化试验, 提出合理焊接工艺方案, 不仅减少了焊接缺陷, 而且提高了生产效率及焊后质量。

关键词: 不锈钢波纹板; 不锈钢弯梁; 焊接工艺

Research on welding technology of 1mm stainless steel corrugated plate and curved beam

ZHANG Hongkui, LIU Kai, DU Tao, WANG Lu, WEI Zepeng, WANG Jun, PENG Ruxing,

ZHOU Chenggong, CHEN Yan

CRRC Nanjing Puzhen Vehicle Co., Ltd., Nanjing 210031, Jiangsu, China

Abstract: Study the welding process of a 1mm corrugated plate with a head and a 3mm bent beam overlapping structure, and analyzes its structural characteristics and existing welding processes. The current process difficulty is to simultaneously complete arc lap welding and irregular joint lap welding with a head, which can easily cause multiple welding defects and take a long repair time, affecting the actual product quality and production efficiency. Propose reasonable welding process methods through optimization experiments on welding processes, reduce welding defects, improve production efficiency and post weld quality.

Keywords: stainless steel corrugated plate; stainless steel bent beam; welding technology

1 序言

由于奥氏体不锈钢具有良好的塑韧性、耐蚀性等优点, 因而在轨道交通车辆、耐腐蚀设备、输管道及大型设备外壳等领域得到广泛应用^[1, 2]。但不锈钢材料也因该特点而在车体生产中不做防腐处理, 这就对车体焊接质量及焊接工艺提出很高的要求。在某不锈钢地铁车顶部件的实际生产中, 存在

带压头的异形超薄板与车顶弯梁搭接结构。该结构是由厚度为1mm带有封头的异形结构波纹板与厚度为3mm弯梁搭接而成, 封头位于圆弧处, 如图1所示。

该结构在焊接过程中要同时完成圆弧搭接焊、异形接头搭接焊, 并保证不等厚母材焊接和异形接头处焊缝熔合良好。如图2所示, 该结构每

第一作者: 张洪逵, 焊接技能指导, 主要从事碳素钢、不锈钢、铝合金材料的焊接工艺、技能培训及生产现场问题攻关等工作,

E-mail: 13913306565@163.com。



图1 波纹板与弯梁搭接实际结构

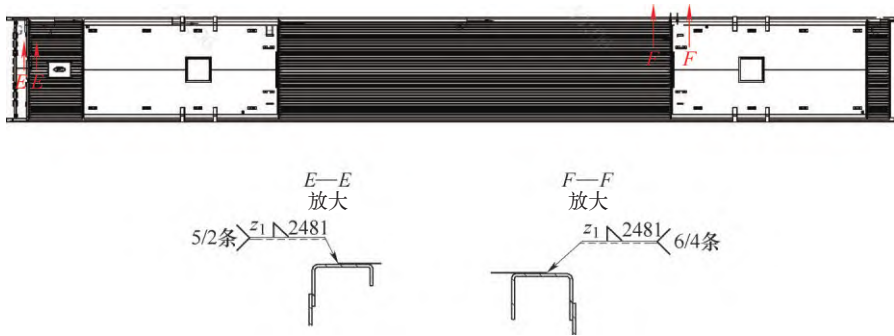


图2 波纹板与弯梁焊缝标识示意

处焊缝长度为2481mm，全车共6处，总焊缝长度为14886mm。且波纹板来料就有异形接头（见图3），该接头处焊缝对整体密封性要求严格，此处焊缝保证整体结构不漏水，因此对控制焊接质量带来了很大的难度。为解决上述生产问题，提高焊缝成形质量，减少焊接缺陷，对现有焊接工艺进行了优化试验。

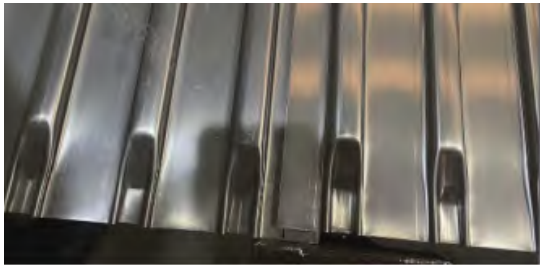


图3 波纹板来料异形接头

2 试验材料及设备

2.1 试验材料

试验所用材料为厚度1mm、3mm的SUS301L-MT不锈钢板材，其化学成分见表1。试验中所用焊丝为直径0.8mm的ER308LSi不锈钢焊丝，其化学成分见表2。

表1 SUS301L-MT不锈钢化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	6.00~8.00	16.00~18.00	—	—	0.20

表2 ER308LSi不锈钢焊丝化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Nb
0.03	0.65~1.00	1.0~2.5	0.03	0.03	19.5~22.0	9.0~11.0	0.75	—	0.75	—

2.2 试验设备

试验所用焊接设备采用法国SAF的半自动焊机设备，满足不锈钢通长波纹薄板的焊接。焊接时设备程序调至不锈钢焊接模式，焊接中使用的保护气体为98%Ar+2%CO₂的混合气体，焊接过程中气体流量为（14±1）L/min。

3 焊接工艺与操作要点

3.1 焊前准备

在焊前对待焊区的油、灰尘等杂质用棉布蘸取专用环保清洗剂进行清理，并确认现场环境满足温度≥5℃、湿度≤90%RH的要求。另外，根据生产需求，焊前需在焊缝周围需喷涂防飞溅液，防止焊

接时飞溅与母材粘连。焊接飞溅不仅影响外观，而且会使不锈钢母材快速氧化产生锈蚀，从而破坏母材的性能。因此，在焊前喷涂防飞溅液时应避让焊缝10~15mm，若焊缝处不小心污染到防飞溅液，则用白棉布蘸取清洗剂擦拭干净，确保焊缝处10~15mm无防飞溅液再进行焊接。

为保证焊接过程中焊接应力分布均匀，通过调整焊接间隙来有效控制焊接变形。

1) 从中间往两端，对中顶超薄波纹板与端部弯梁进行压紧定位焊固定。

2) 定位焊时确保每个波谷及波峰中间的压平位置与端部弯梁贴紧，间隙<0.5mm。

3) 定位焊固定完成后，使用相应工具清理黑灰，并用铣刀对定位焊焊缝进行修磨。

4) 要求修磨至圆滑过渡，无棱角、毛刺，保证焊缝外观无明显凸起。

目视检查定位焊、波纹板压头部位的焊接情况，确定无缺欠再进行中顶超薄波纹板与端部弯梁焊接，具体焊接参数见表3。

表3 中顶超薄波纹板与端部弯梁焊接参数

焊接区域	焊接方法	焊接位置	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/(m/min)	热输入/(kJ/mm)
圆弧爬坡	135	PF	0.8	74	17.2	DCEP/+	4.8	0.21
平搭焊	135	PB	0.8	98	16.6	DCEP/+	7.8	0.17

3.2 焊接难点与顺序

厚度为1mm的波纹板属于超薄板，在焊接时如控制不好焊接角度、手法与热输入，则会导致薄板快速熔化形成孔洞、焊缝成形弯曲等现象；而满焊后会产生缺陷，影响焊缝外观及质量，此处焊缝检测后具体缺陷位置如图4所示。由于压头部位的母材折弯重叠，且折弯重叠处有2mm的间隙，因此若操作不当，则极易造成烧化、烧穿；焊接时应先焊接波纹板压头处，要求该处焊缝成形饱满圆滑，保证车顶密封性。

焊接时应从两侧往中间对中顶超薄波纹板与端部弯梁进行焊接，两边对称焊接。受车顶圆弧长度影响，中间可断弧，待修磨收弧位置、清理黑灰后继续焊接。由于圆弧爬坡焊接和平搭焊焊接参数有区别，因此需要注意断弧分布，及时进行焊接参

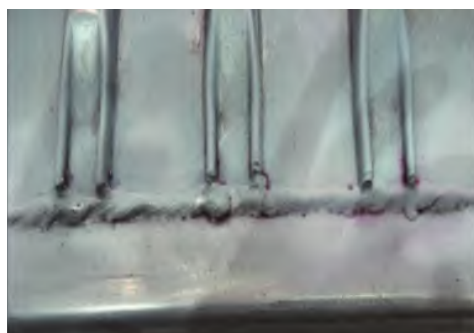


图4 焊缝检测后缺陷位置

数调节，保证整条焊缝外观焊接质量，加强熔池观察。在进行圆弧爬坡焊接时，焊工需变换焊接位置，面部正对焊缝进行焊接，切不可蹲在平顶上从侧面进行焊接，这样不易观察焊缝熔池与缺陷的产生，焊枪角度不易调整到位，不能保证焊缝质量。

3.3 焊接操作要点

(1) 波纹板与端部弯梁处搭接位置的焊接 在进行搭接焊时，采用直线小电流往复的焊接手法，能更好地保证焊缝两侧熔合良好，焊枪角度可在70°~75°内自行调节。若焊枪倾角过小，则易产生表面成形不美观、飞溅大等缺陷；若焊枪角度过大，则易发生薄板熔化过快形成孔洞或熔敷金属过高、过宽及底板过烧等缺陷。因此，在该焊缝焊接时应注意随着焊枪不断前进移动，焊枪角度也要及时调整，始终保持70°~75°。

(2) 波纹板与端部弯梁圆弧爬坡处位置的焊接 由于此处位置爬坡焊接时焊缝属于PF，因此在进行焊接时不可采用常规的直线推焊法，而应采用圆弧跳焊法。此方法的电弧电压可适当调小，防止电弧电压稍大将薄板过快熔化，焊接角度应在80°左右；且焊接时电弧40%在薄板、60%在厚板，待弧坑填满后立即上移电弧，防止产生余高过高、焊缝脱节、烧穿及成形差等问题；若焊接速度过慢，则会产生焊瘤、余高过高、底板过烧等焊接缺陷，具体的焊缝外观成形对比如图5、图6所示。

(3) 小枪的运用 焊接此焊缝时因空间位置、角度、熔池难以控制，所以可更换成TBi-150焊枪，减轻焊枪的质量，增加焊工的视野。减轻焊枪质量可使焊工更加灵活地控制焊接角度的变化，增加焊工的视野可帮助焊工更加方便地观察熔池，从而更加快速地对焊接手法、角度、快慢进行调整。小焊枪角度如图7所示。



图5 成形较差



图6 成形良好



图7 小焊枪角度的示意

3.4 焊后处理

(1) 焊后打磨 焊缝焊接完成后,用不锈钢扁铲将飞溅清理干净,再用抛光片和铣刀将接头处修磨至与焊缝高度一致。用不锈钢碗刷对焊缝进行清理,去除氧化膜及黑灰,确保打磨后焊缝表面光亮、无黑灰残留。

(2) 钝化处理 由于不锈钢车体外部不做任何防腐油漆处理,因此所有焊缝焊接完成后均需进行钝化处理。用毛笔蘸取钝化膏对焊缝进行钝化处理,焊痕消痕等待10min后,再用自来水对钝化部位进行清洗。

(3) 气密性及无损检测 对波纹板焊缝进行气密性检测。

1) 步骤一:用风速测量仪检查风管出风口力,确认压力在0.6~0.8MPa。

2) 步骤二:用装有0.2%浓度以上肥皂水的喷雾器向波纹板端头焊缝喷洒肥皂水,并从车内使用风管吹焊缝,每喷完1000~1500mm长度的焊缝后停止观察15s,如出现冒气泡现象,用记号笔将冒泡的焊缝圈出,继续检查剩下的焊缝。

3) 步骤三:当整条焊缝均完成步骤二后,若无冒泡现象,说明该条焊缝气密性合格;若有冒泡现象出现,则将做了标记的焊缝按修补工艺文件要求进行修补,并对修补后的焊缝重复上述检测步骤,

直至无冒泡现象后,说明该条焊缝气密性试验合格。

所有上述需做气密性检测焊缝均需重复以上步骤直至均无气泡产生,用干净的拖把将残留的肥皂水清洁干净后气密性试验结束。气密性试验结束后再次确定该焊缝质量,对整体焊缝进行100%的渗透检测。

4 结束语

本文通过针对中顶超薄波纹板与端部弯梁的平搭接与爬坡焊焊缝焊接过程中易出现的问题进行探讨,进行焊接工艺及操作要点的解析,并提出合理的焊接工艺。

1) 平搭接PB位置时,采用直线小往复的焊接手法,且要重点保证焊枪角度为 $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。

2) 爬坡焊PF位置时,要采用圆弧跳焊法,电弧电压不可过大,焊接角度应在 80° 左右,焊接速度不可过慢。

3) 焊接难点焊缝时及时采用TBi-150焊枪,以减轻焊枪的质量,增加焊工的视野,降低操作难度,从而保证焊接质量。

4) 操作者只要严格执行焊接规范,认真做好焊前清理工作,按照本文所述的手法进行操作,就可以获得优质的焊接质量。通过后续诺伊达项目不锈钢车体生产实践,车顶端梁焊缝的无损检测合格率由原来的60%提高到95%,返修时间大大缩短。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册: 材料的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 程典阳, 韩晓辉. 轨道车辆不锈钢波纹板自动缝焊工艺开发[J]. 电焊机, 2008, 38 (6): 62-64.
- [3] ZENG Z R, STANFORD N, DAVIES C H J, et al. Magnesium extrusion alloys: A review of developments and prospects[J]. International Material Reviews, 2019, 64 (1): 27-62.
- [4] LI W X, WANG L Y, ZHOU B J, et al. Grain-scale deformation in a Mg-0.8wt%Y alloy using crystal plasticity finite element method[J]. Journal of Material Science & Technology, 2019, 35 (10): 2200-2206.

(收稿日期: 20250209)