

不锈钢CMT焊接与MAG焊接工艺对比研究

夏宁¹, 黄坤¹, 刘晨¹, 李龙飞¹, 王春明²

1. 中车南京浦镇车辆有限公司 江苏南京 210031

2. 华中科技大学 湖北武汉 430000

摘要: 选用2mm厚X2CrNiN18-7不锈钢进行CMT与MAG焊接工艺对比试验研究。主要从焊缝成形、接头金相、力学性能、焊接飞溅和焊接变形等方面对比分析以上两种工艺的不同之处。结果表明: 两种焊接方法的焊缝都是典型的熔化极气体保护焊焊缝成形, 二者主要的组织成分都以奥氏体为主, 且有少量铁素体。由于MAG焊接热输入高, 特征区域与CMT焊接相比缺少部分熔化区和等轴晶区。CMT焊接所得焊缝强度和伸长率高于MAG焊接, 焊接飞溅仅为MAG焊接的20%左右, 且同种外部条件下同类接头优化工艺CMT焊接变形比MAG焊接小, 最大焊接变形约为MAG焊接的70%。

关键词: CMT焊接; MAG焊接; 焊缝对比; 性能

Comparative study on CMT welding and MAG welding process of stainless steel

XIA Ning¹, HUANG Kun¹, LIU Chen¹, LI Longfei¹, WANG Chunming²

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

2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430000, Hubei, China

Abstract: 2mm thick X2CrNiN18-7 stainless steel is used to carry out a comparative experimental study of CMT welding and MAG welding process. Mainly from the weld shaping, joint metallurgy, mechanical properties, welding spatter and welding deformation, etc. Comparative analysis of stainless steel CMT welding process and MAG welding process differences. The results show that the weld of the two welding methods are typical melting electrode gas shielded weld seam forming, and the two main organizational components are austenite-based, and a small amount of ferrite. Due to the high heat input of MAG welding, its characteristic area than the CMT welding lack of part of the melting zone and isometric crystal area, CMT welding weld strength and elongation is higher than the MAG welding, welding spatter is only about 20% of the MAG welding, and the same kind of external conditions under the same type of joint optimization process CMT welding deformation is smaller than the MAG welding, the maximum weld deformation of about 70% of the MAG welding.

Keywords: CMT welding; MAG welding; weld comparison; performance

1 序言

冷金属过渡技术 (Cold Metal Transfer, CMT) 是Fronius公司基于MIG/MAG焊接技术开发的一种新型焊接方法。与传统熔化焊相比, CMT具有低飞溅、低热输入的特点, 同时提高了焊接质量和稳定

性, 减少了成形差的问题。特点包括稳定的电弧、快速可靠的引弧、均匀一致的焊缝形成、高重复精度的焊接质量、低热输入量、少量变形及良好的搭桥能力。CMT焊接技术作为一种适合不锈钢薄板焊接的新技术, 具有焊接质量好、成本适中等优点,

非常适合不锈钢车体中的手工焊接，并可以替代部分自动焊接技术^[1-5]。

大众汽车有限公司在汽车领域应用CMT技术进行侧围落水槽的钎焊。为了防止熔滴穿透，需要在焊缝厚度过渡区控制热输入量尽可能低。传统气体保护焊接难以满足这一要求，而CMT技术成功实现了这一目标^[6-8]。

目前，国内焊接不锈钢列车车体还是以电阻点焊为主，不锈钢列车车体的CMT焊接在国内还没有取得成熟的技术和工程化的应用经验，有必要进行进一步深入的研究。

2 工艺试验

对比试验研究选用2mm厚X2CrNiN18-7不锈钢进行CMT焊接与MAG焊接，试样规格为350mm×150mm×2mm，采用308LSi不锈钢，其焊丝直径为1.0mm。

在焊接前，对试板进行打磨处理，使用砂纸进行打磨后再用丙酮擦洗，以确保焊接部位没有锈迹、油污等杂质。利用相机拍摄焊缝表面对比两组焊缝的外观形貌；采用线切割方法得到焊缝拉伸试样和金相试样，随后对金相试样进行镶嵌磨抛处理，再利用体视显微镜观察试样横截面形貌，利用金相显微镜观察金相组织。本文试验采用CMT焊机及KUKA焊接机器人，CMT 5000系列焊机带有导航式的RCU5000i手持式遥控器，焊接参数调节方便，共有CMT、脉冲、非脉冲3种焊接工艺。同时，试验中使用高速摄像机拍摄焊接过程，观察熔滴过渡情况，为后续熔滴过渡频率等量的计算提供基础。

3 焊缝成形对比

对接焊缝与角接焊缝表面形貌分别如图1、图2所示。通过对比图1和图2，可较明显地看出，两种焊接方法得到的焊缝外观形貌相近，都呈现出典型

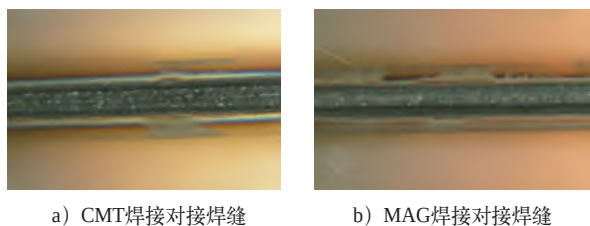


图1 对接焊缝表面形貌对比

的熔化极气体保护焊焊缝形貌。

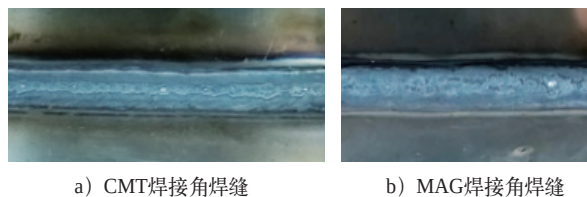


图2 角接焊缝表面形貌对比

CMT与MAG焊缝横截面形貌对比如图3所示。从图3可看出，两种焊接方法所得到的焊缝横截面形貌存在较明显差异。经测量得知，CMT焊接方法所得焊缝板材部分的熔宽为1.8mm，而采用MAG焊接方法所得熔宽为2.5mm。

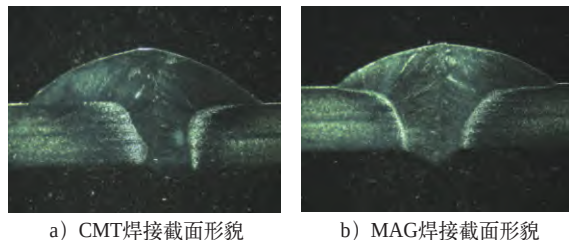


图3 CMT与MAG焊缝横截面形貌对比

4 接头金相组织对比

电弧焊接熔焊过程是在热源电弧的作用下进行的，这是一个局部、快速、不平衡的热加工和凝固过程，导致熔焊接头具有不均匀的组织性能。一个熔焊接头由不同的特征区域组成，即使具有相同的元素成分，采用不同的焊接方法所得到的接头，由于热输入过程和热输入量的差异，最终形成的焊缝特征区域也会有所差异。

这两种焊接方法的组织成分主要是奥氏体，同时含有少量铁素体，这取决于它们的元素成分。CMT与MAG焊接焊缝显微组织对比如图4所示。从图4b中可观察到，相较于CMT焊接所得到的焊缝，MAG焊接所得的焊缝熔合线右侧热影响区内的平行铁素体数量较少且较短，不能有效抑制热影响区

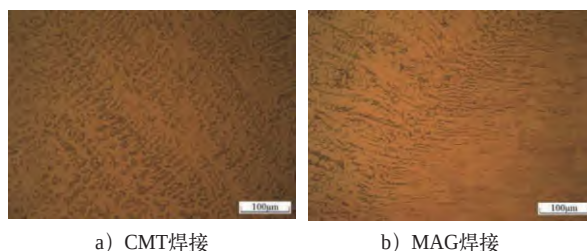


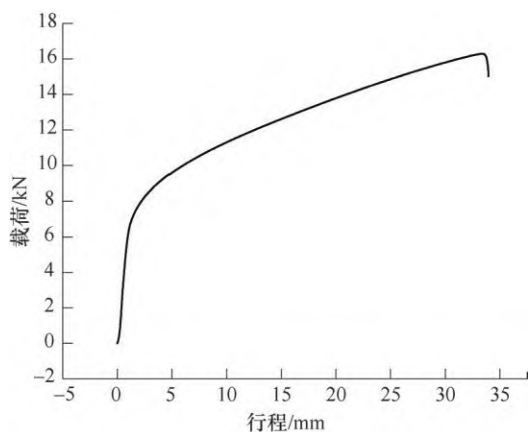
图4 CMT与MAG焊接焊缝显微组织对比

晶粒的长大。此外，它们的特征区域构成也不同，MAG焊接的特征区域主要由母材、热影响区和柱状晶区组成，而缺少了部分熔化区和等轴晶区。这可能是由于MAG焊接的热输入量过高所导致的。

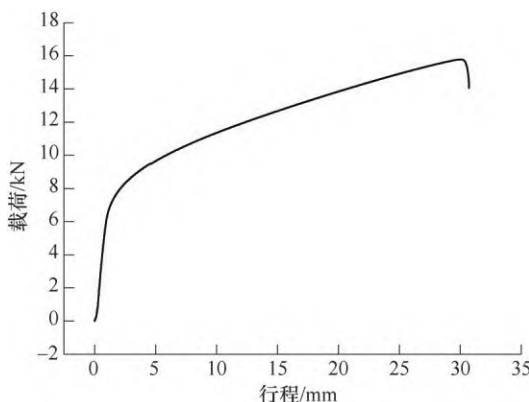
5 力学性能对比

通过对磨平后的焊缝表面余高进行力学性能拉伸试验，得到了两种不同焊接方法所得焊接接头的拉伸曲线，如图5所示。CMT焊接所得焊缝强度为780MPa，达到母材强度（895MPa）的87%，断裂位置位于热影响区，其伸长率为49.1%。而MAG焊接所得焊缝抗拉强度为719MPa，达到母材强度的80%，断裂位置也在热影响区，其伸长率为33%。

由于两种焊接接头在组织构成等方面存在差异，因此导致其力学性能也有所不同。相较于MAG焊接而言，CMT焊接所得的焊缝具有更均匀的组织结构和更细小的晶粒，因此其力学性能更为优越。



a) CMT 焊接



b) MAG焊接

图5 焊缝接头拉伸曲线对比

6 焊接飞溅对比

在实际焊接过程中发现，使用CMT焊接技术焊

接试件过程中产生的飞溅很少，焊后在试板上几乎看不到残留的飞溅颗粒。为了对CMT焊接试板时所产生的飞溅进行评估，在保证熔透情况一致的情况下进行了CMT焊接技术与CMT焊机中MAG焊接技术的焊接飞溅量对比试验。试验过程中，创新性地使用了图像法和残留法两种方法统计飞溅量。

6.1 图像法

使用相机对焊接过程进行全程拍摄，之后对视频文件做处理。在全长10s的焊接过程中，在2s、4s、6s、8s末分别取出一帧进行观察。CMT与MAG焊接飞溅对比如图6所示。



a) CMT焊接

b) MAG焊接

图6 CMT与MAG焊接飞溅对比

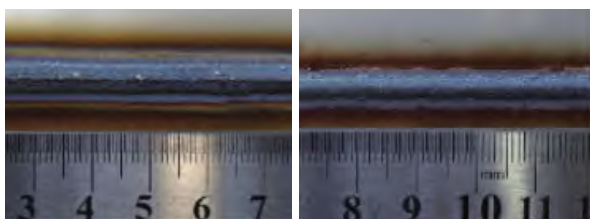
统计出其中肉眼可见的飞溅颗粒，结果见表1。由表1可知，此方法计算出CMT焊接飞溅量为MAG焊接飞溅量的24%。

表1 飞溅量统计结果

项目	时刻/s				合计 /g	平均 /g
	2	4	6	8		
	飞溅量/g					
CMT	2	8	5	4	19	4.75
MAG	18	20	23	18	79	19.75

6.2 残留法

焊接过程完毕后在不同焊缝的不同位置各取5cm长度，以肉眼可见为标准统计飞溅数量并计算平均值。CMT与MAG焊接飞溅残留对比如图7所示。由图7可知，采用CMT焊接技术所焊接的试板5cm长度中平均有肉眼可见飞溅约2个，而MAG焊



a) CMT焊接

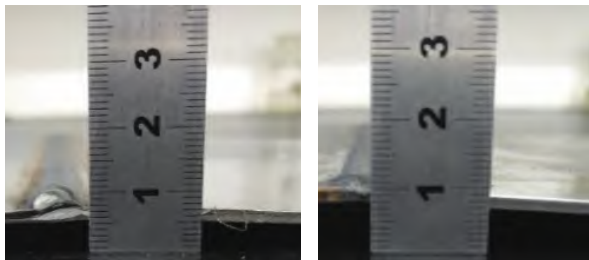
b) MAG焊接

图7 CMT与MAG焊接飞溅残留对比

接平均约有15个,此方法计算出CMT焊接飞溅量为MAG焊接飞溅量的13%。

7 焊接变形对比

以2mm对接接头优化工艺为例,CMT与MAG焊接变形对比如图8所示。由图8可知,MAG对接焊缝(350mm长度)无约束最大变形约8mm,同种外部条件下CMT焊缝最大变形约为5.5mm。由此可见,CMT焊接工艺相对于MAG焊接工艺可大大减小不锈钢的焊接变形。



a) CMT焊接翘曲约5.5mm

b) MAG焊接翘曲约8mm

图8 CMT与MAG焊接变形对比

8 结束语

本研究主要从焊缝成形、接头金相、力学性能、焊接飞溅和焊接变形等方面对比分析了不锈钢CMT焊接工艺与MAG焊接工艺的不同之处,得出以下结论。

1) 两种焊接方法的焊缝都是典型的熔化极气体保护焊焊缝成形。二者主要的组织成分都以奥氏体为主,且有少量铁素体。但由于MAG焊接热输入高,特征区域与CMT焊接相比缺少部分熔化区和等轴晶区。

2) CMT焊接所得焊缝强度和伸长率(780MPa, 49%)高于MAG焊接(719MPa, 33%),且CMT焊接飞溅仅为MAG焊接的20%左右。

3) 同样外部条件下同类接头优化工艺CMT焊接变形比MAG焊接小,例如2mm厚不锈钢对接无约束状态下,CMT焊接最大变形约为MAG焊的70%。

参考文献:

- [1] 周佳楠, 张国栋, 郑飞, 等. Cr13 不锈钢 CMT 堆焊金属表面高压滚压层结构与性能研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53 (8) : 68-74.
- [2] 孟庆亮. 不锈钢薄板冷金属过渡焊接(CMT)工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [3] 高杰. CMT自动焊在不锈钢城轨车辆中的应用[J]. 现代机械, 2014 (4) : 13-15.
- [4] 董曼淑, 蔡辰, 高洪明. 高速列车不锈钢薄板 CMT 搭接焊工艺研究[J]. 机械制造文摘(焊接分册), 2018 (1) : 26-30.
- [5] 丁成钢, 史春元, 扬蔚, 等. SUS304 不锈钢 MAG 焊接接头组织与性能[J]. 热加工工艺, 2006, 35 (15) : 19-20.
- [6] 杨修荣. 超薄板的MIG/MAG 焊——CMT冷金属过渡技术[J]. 石油化工建设, 2006, 28 (2) : 37-39.
- [7] 焦向东, 潘际奎, 张骅. 交流 MAG 焊接电弧稳定性及其控制[J]. 焊接学报, 1998, 19 (1) : 47-53.
- [8] 路浩, 邢立伟, 陈大军. 高速列车用耐候钢活性 MAG 焊接技术[J]. 焊接学报, 2013 (11) : 105-108.

MW 20240609

(上接第38页)

- 参数锅炉受热面管备选材料建议[J]. 钢铁研究学报, 2021, 33 (9) : 891-900.
- [3] 谢锡善, 艾卓群, 迟成宇, 等. 620~650℃锅炉过热器/再热器用新型奥氏体耐热钢SP2215的研发[J]. 钢管, 2018, 47 (1) : 23-29.
 - [4] 高虹, 陈泽民, 何周苏秦, 等. 超超临界火电锅炉用新型奥氏体耐热合金无缝管的研制[J]. 现代冶金, 2020, 48 (4) : 4-11.
 - [5] 吴明华, 杨辉, 朱秋华, 等. 新型奥氏体耐热钢SP2215的开发与研究[J]. 钢管, 2023, 52 (4) : 30-35.
 - [6] 梁凯, 姚志浩, 谢锡善, 等. 新型耐热合金SP2215

组织与性能的关联性[J]. 金属学报, 2023, 59 (6) : 797-811.

- [7] 赖仙红, 杨华春, 敬仕煜, 等. 630℃锅炉高温过热器/高温再热器系统材料选择及其抗氧化措施[J]. 发电设备, 2022, 36 (3) : 194-197.
- [8] 靳晓坤, 张世超, 刁旺战, 等. SP2215/T92异种钢焊接接头微观组织与力学性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2023, 52 (9) : 3250-3263.
- [9] 张宇. 新型复合强化奥氏体耐热钢及焊接接头蠕变行为与机制[D]. 天津: 天津大学, 2022.
- [10] 佐藤邦彦. 溶接工业[M]. 日本: 理工学社, 1979.

MW 20240609