

Q235A 钢表面 TIG 堆焊铜合金的 组织和性能研究

刘永玲, 韩磊, 查开旭, 毛文涛,
丁永金, 吴建, 舒宝盛
(兰州兰石集团兰驼农业装备有限公司, 兰州 730314)

摘 要: 为了解决 Q235A 钢表面耐腐蚀性差和硬度低等问题, 采用 TIG 堆焊方法在 Q235A 钢板上堆焊铜合金, 从 30 组试验中选取堆焊效果好的 3 组试样进行组织和性能研究, 分析堆焊层组织的宏观和微观形貌, 比较堆焊层的硬度和耐蚀性。结果表明: 铜合金层和母材界面的成分发生了变化, 发现基体元素向铜合金层中溶解产生不同形状的泛铁相, 钢板表面硬度明显提高, 表面堆焊层的耐腐蚀性比 Q235A 钢母材的耐腐蚀性有显著提高。

关键词: Q235A 钢; TIG 堆焊; 铜合金; 组织性能

中图分类号: TG457.1

文献标识码: A

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.07.002

Study on Microstructure and Properties of Q235A Steel Surface TIG Surfacing Copper Alloy

LIU Yongling, HAN Lei, ZHA Kaixu, MAO Wentao, DING Yongjin, WU Jian, SHU Baosheng
(Lanzhou Lanshi Group LANTUO Agricultural Equipment Co., Ltd., Lanzhou 730314, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor corrosion resistance and low hardness on the surface of Q235A steel, TIG surfacing method was used to surfacing copper alloy on Q235A steel plate. Three samples with good surfacing effect are selected from 30 groups of tests to study the microstructure and properties. The macro and micro morphology of the microstructure of the surfacing layer are analyzed, and the hardness and corrosion resistance of the surfacing layer are compared. The results show that the composition of the interface between the copper alloy layer and the base metal is changed. It is found that the surface hardness of the steel plate is improved obviously, and the corrosion resistance of the surfacing layer is higher than that of the base metal of Q235A steel.

Key words: Q235A steel; TIG surfacing; copper alloy; microstructure properties

0 前 言

Q235A 钢容易冶炼, 工艺性好, 价格低廉, 能够满足一般工程结构及普通零件的要求, 然而由于 Q235A 钢表面硬度低、耐腐蚀性差等缺点限制了其在更多领域的应用^[1]。大量的生产实践表明, Q235A 钢不但会在酸性以及中性的介质中发生电化学腐蚀, 而且在碱性介质中耐蚀性也较差, 在高温浓碱中耐腐蚀性更差^[2]。并且 Q235A

钢在潮湿环境中也容易腐蚀形成 FeOOH, FeOOH 疏松多孔, 容易产生腐蚀和磨损的交互作用, 这种腐蚀交互作用可使磨损的速率增大几十倍。

近年来随着对表面高硬度、耐磨、耐腐蚀, 内部保持良好塑韧性材料的研究, 表面改性技术获得了很好的发展和应用, 已成功用来提高工程零部件、航空零件、运动器材等的耐磨性和硬度^[3]。气体钨极氩弧焊 (TIG) 是一种较方便的表面改

性方法。TIG堆焊是在惰性气体保护下,利用钨电极与工件间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝(如果使用填充焊丝)的一种焊接方法^[4]。经多次试验表明,该冶金结合方法可得到无裂纹的熔覆层。

铜基合金具有良好的耐蚀性、导热性及耐粘着磨损性,广泛应用于石油、石化、机械、矿山等领域。然而,其强度低于钢铁材料,价格比一般钢铁材料昂贵,并且在有些场合很难甚至无法满足工程实际的要求,往往需要材料结构兼有铜与钢的性能^[5]。在石油化工、航空航天和兵器制造领域便有了在钢基体表面堆敷铜合金层,在保证钢材性能的同时,兼有了铜的导电导热性能^[6]。一般在堆焊过程中不仅要求堆焊层与基体实现冶金结合,有较高的结合强度,而且要求很低的稀释率。熔池的金属凝固过程直接影响堆焊层的组织结构和力学性能^[7],该过程包括传热、流体、化学反应等复杂现象。一些研究表明,熔覆层复杂的微观结构是提高耐磨性和硬度的关键因素^[8],因此

有必要对熔覆层微观组织进行研究。本研究在Q235A钢板表面用CuSi₃铜合金焊丝进行堆焊试验,并分析了堆焊层的组织和性能。

1 试验材料及设备

1.1 试验材料

本次试验母材采用4块Q235A钢板,钢板尺寸400 mm×70 mm×3.8 mm,其主要化学成分及力学性能见表1和表2。试验用焊接材料为CuSi₃铜合金焊丝,焊丝直径为0.8 mm,主要化学成分见表3。

表1 Q235A钢主要化学成分 %

w(C)	w(Mn)	w(Si)	w(S)	w(P)
0.14~0.22	0.30~0.65	≤0.30	≤0.05	≤0.045

表2 Q235A钢力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
375~460	≥235	26

表3 CuSi₃铜合金焊丝化学成分 %

w(Si)	w(Mn)	w(Zn)	w(Sn)	w(Fe)	w(Pb)	w(Ni)	w(Cu)
2.7~3.5	1.0~1.5	<0.5	<0.25	<0.3	<0.03	<0.2	余量

1.2 试验设备

焊接设备是福尼斯TT2200型全数字直流TIG焊机、KD4010送丝机、工业控制机和XKA714B/1E数控铣床等组装成的堆焊成型系统。

其他设备包括J1G-SD41-350N型材切割机、信达MD2215A台式砂轮机、XQ-2型金相镶嵌机、MP-2型抛光机、XJP-6A数码金相显微镜、JH-16型压力机、F-P400型球磨机及XL30ES-EM-TMP型环境扫描电镜。

2 焊接工艺及过程

2.1 焊接工艺

堆焊工艺试验采用TIG焊,直流正接,焊缝长度70 mm。保持焊接电弧长约4.5 mm;送丝角度20°~30°,焊丝末端距工件高度1 mm;钨钨极直径2.4 mm,尖端锥角约35°;保护气体为99.9%的普通工业纯氩,气体流量10~15 L/min。

氩气是惰性气体,在焊接过程中既不与金属

发生化学反应,也不溶解于金属中,这为获得高质量焊缝提供了良好条件^[9]。但是氩气与还原性气体或氧化性气体不同,不具备脱氧或去氢能力,因此TIG焊焊接过程对焊件上的污染极为敏感。为保证焊接质量,焊前必须将焊件和焊丝等清理干净,不残留污染物^[10]。须清除的污染物有油脂、油漆、涂层加工时用的润滑剂、尘土和氧化膜等。堆焊前将待焊表面用砂纸进行手工逐级磨光,以去除试件表面的氧化膜和吸附层,然后用丙酮擦拭待焊试件表面,用热风吹干后即可进行堆焊试验。

2.2 焊接参数及试验结果

采用TIG焊在Q235A钢板上进行堆焊铜合金试验,根据铜合金焊丝的不同特点选择不同的焊接工艺参数,主要影响因素为焊接速度、送丝速度和焊接电流,因此可通过改变焊接速度、送丝速度和焊接电流获取性能最优的焊缝。在堆焊过程中,先选用固定的焊接速度,通过改变焊接电流和送丝速度,根据焊缝外观

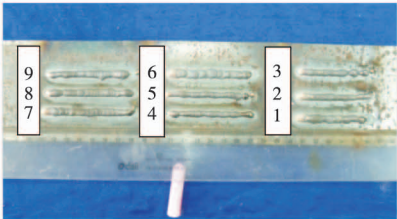
来判断焊接效果^[11]。主要可通过观察焊缝外观的平整度、美观度和飞溅等具体情况来选择优化焊缝。对于成形不好的焊缝，可通过调节焊接速度获取最优的焊接参数^[12]；对于焊缝成形比较好的焊缝，可通过切割后观察熔深和熔宽来判断。在试验过程中应做好数据记录，并在焊缝上标出焊接参数。试验时根据焊接参数对焊缝的不同影响来决定需要改变的参数。

由相关试验得知，TIG 堆焊铜合金最合适电流为 110~130 A，送丝速度为 90~130 cm/min，焊接速度为 100~140 mm/min。通过分别控制焊接速度、送丝速度和焊接电流进行试验，共设计了 30 组数据，焊接参数见表 4，堆焊层形貌如图 1 所示。

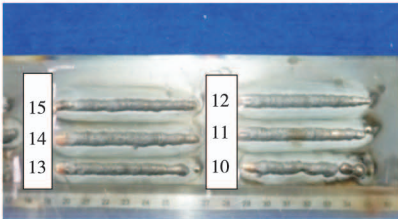
基于表 4 中的 30 组试验，选择 2 号、12 号和 18 号做金相试验，12 号进行硬度和腐蚀性试验。

表 4 不锈钢单道单层堆焊参数

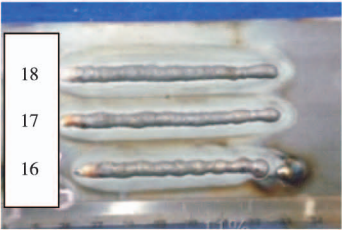
编号	焊接 电流/A	送丝速度/ (cm·min ⁻¹)	焊接速度/ (mm·min ⁻¹)	编号	焊接 电流/A	送丝速度/ (cm·min ⁻¹)	焊接速度/ (mm·min ⁻¹)	编号	焊接 电流/A	送丝速度/ (cm·min ⁻¹)	焊接速度/ (mm·min ⁻¹)
1	110	70	90	11	130	80	110	21	110	100	110
2	110	80	100	12	130	90	120	22	110	90	120
3	110	90	110	13	130	100	130	23	120	90	120
4	110	100	120	14	130	110	120	24	130	90	120
5	110	110	130	15	130	120	140	25	120	90	110
6	120	70	100	16	120	90	100	26	130	90	120
7	120	80	110	17	120	90	110	27	110	100	110
8	120	90	120	18	120	90	120	28	140	100	130
9	120	100	130	19	110	80	110	29	120	120	120
10	120	110	90	20	110	90	110	30	110	90	110



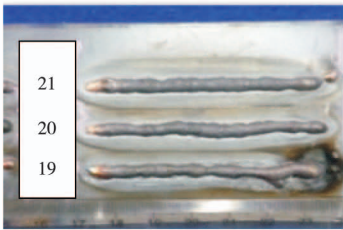
(a) 试样编号1~9



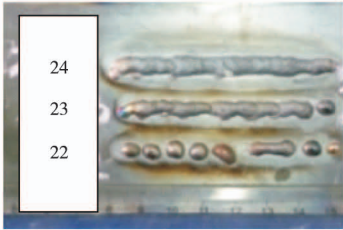
(b) 试样编号10~15



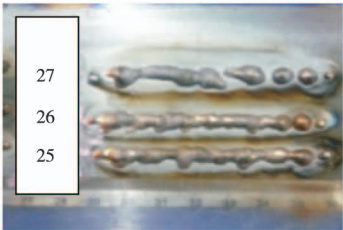
(c) 试样编号16~18



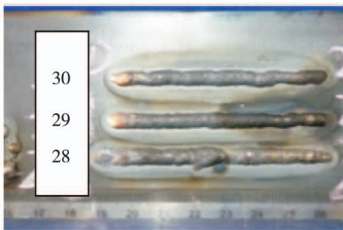
(d) 试样编号19~21



(e) 试样编号22~24



(f) 试样编号25~27



(g) 试样编号28~30

图 1 铜合金堆焊层形貌

3 试验结果分析

3.1 金相试验分析

用2号、12号和18号堆焊试样制作成金相试验样品,采用扫描电镜观察焊缝断面微观形貌。图2所示为焊缝试样横截面宏观照片,图3所示为12号试样母材及热影响区金相组织。从图2和图3可以看出,作为亚共析钢,

母材的组织主要由铁素体和珠光体组成。粒状的珠光体弥散分布在比较粗大的铁素体晶粒中间。而热影响区组织经历过回复(新的无畸变晶粒出现之前所产生的亚结构和性能变化阶段)、再结晶(出现无畸变等轴新晶粒逐步取代变形晶粒的过程)和晶粒长大(再结晶结束之后晶粒继续长大)过程,从而得到尺寸为较稳定、无畸变的细等轴晶粒。

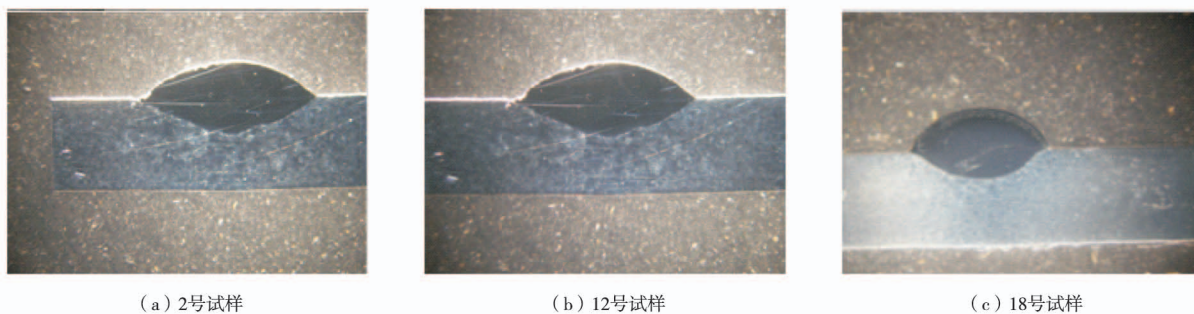


图2 焊缝试样横截面宏观照片

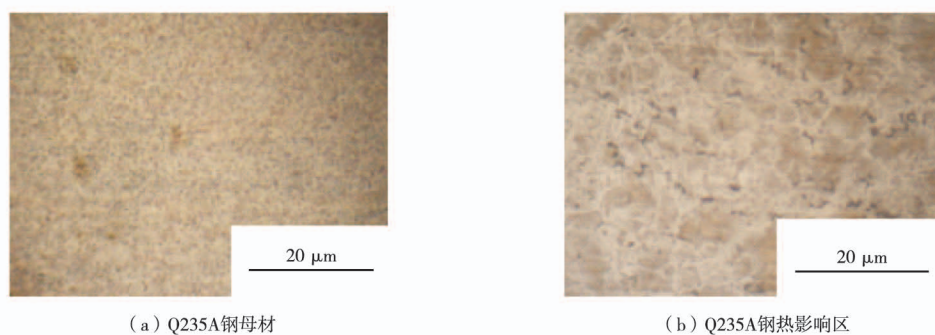


图3 12号堆焊试样金相组织

图4为铜合金堆焊层与母材结合区组织,从图4可以看出,靠近母材结合部分的组织有部分等轴晶,这是因为有Fe渗透进去,即堆焊过程中发生泛铁现象^[11]。铜与钢在高温下无限互溶,焊接过程,钢基体发生熔化进入液态铜合金中。当热输入加大时,钢基体大量熔化,在电弧力搅拌作用下与液态铜合金混合,冷却后残存在铜合金中以游离相形式存在,形成泛铁相。

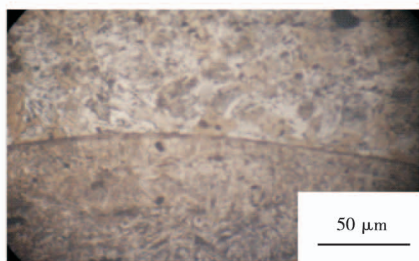


图4 铜合金堆焊层与母材结合区组织

图5为铜合金堆焊层金相组织,由图5可见,其组织主要为等轴晶。铁在铜中溶解度有限,当温度下降时,溶解度也随着降低,铁元素就会机械混合于铜中。铜和铁在液态可以无限互溶,因此在铁熔滴溶解过程中,铜液体也溶解进铁液滴中。

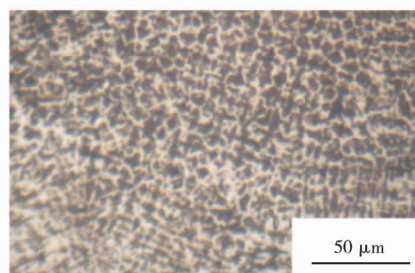


图5 铜合金堆焊层金相组织

3.2 堆焊层硬度

采用HVS-1000型显微硬度计测试Q235A钢

板及铜合金堆焊层显微硬度，载荷 100 g，加载时间 15 s，每个试样测 3 个值，如果离散太大则测 5 个值，最后求平均值。测量的试样是堆焊铜合金试验中 12 号堆焊试样，并与未进行堆焊的 Q235A 钢板对照，测试结果见表 5。从表 5 可以看出，Q235A 钢板表面硬度值较低，而铜合金堆焊层表面硬度值比 Q235A 钢板高，达到了预期目标。

表 5 钢板和堆焊层表面硬度值

试样	HRC	
	单值	均值
Q235A 钢板	12.5、13.2、13.6	13.1
铜合金堆焊层	33.0、42.9、35.9	37.3

3.3 堆焊层耐蚀性

用化学浸泡试验来研究堆焊层耐腐蚀性能。将 12 号堆焊接试样切割成规则尺寸的腐蚀试样，用树脂镶嵌，留出堆焊熔覆层和母材结合面并磨制抛光。同时，用未进行堆焊的 Q235A 钢板制作腐蚀试样作为对照。采用质量分数 15% 的 FeCl₃ 盐酸溶液作为腐蚀液，试验温度 25 ℃，时间 24 h，以试样腐蚀形貌来评价其耐腐蚀性能。通过观察发现，两组试样经过腐蚀试验后，母材发生了严重腐蚀，堆焊层未发现明显腐蚀，这是因为铜合金含有可以形成保护膜的镍元素，表现出更好的耐腐蚀性，由此表明，Q235A 钢表面堆焊铜合金后其表面耐蚀性显著提高。

4 结 论

(1) 利用 TIG 堆焊方法在 Q235A 钢板表面堆焊铜合金，在合适的焊接工艺参数下堆焊层表面成形较好，堆焊层与基体间实现冶金结合。随焊接热输入加大，熔覆层宽度增大，基体表面熔深增加。

(2) 焊接电流、焊接速度和送丝速度影响表面堆焊层熔宽和余高，焊接电流主要决定焊缝熔深，焊接速度主要决定单位长度焊缝的热输入。本次试验 Q235A 钢表面 TIG 堆焊铜合金最优工艺参数为焊接电流 120 A，送丝速度 90 mm/min，

焊接速度为 120 mm/min。

(3) 在奥氏体铜合金焊接接头中，按照铁素体形态的变化定义特征区，较为合理的过渡区由未混合区、部分熔化区和固态相变区组成，其与两侧的焊缝区和热影响区之间均有明显的边界。

(4) 焊接接头的未混合区与焊缝区虽均为凝固组织，但由于化学成分、过热度 and 冷却速度等的差异而形成形态不同的组织。部分熔化区与固态相变区无明显的组织差异，它们形成的铁素体细小、不连续、无方向性，奥氏体基体上无柱状晶形态。

参考文献:

[1] 禹业晓,李玉龙,徐健宁,等. Q235 钢板表面 TIG 法熔覆铜接头的组织和力学性能[J]. 航空材料学报,2014,34(1):62-68.

[2] 潘强,刘尔玺,冯淳元,等. Q235 钢板表面堆焊不锈钢改性处理[J]. 焊管,2017,40(4):22-26.

[3] 徐杨. 碳钢表面堆焊铝青铜组织性能研究[D]. 苏州:江苏科技大学,2021.

[4] 刘阳,刘爱国,张兴品,等. Q235 钢表面堆焊 310 不锈钢的组织与性能[J]. 沈阳理工大学学报,2017,36(5):67-72.

[5] 罗福军,张贵芳. 碳钢表面堆焊铝青铜的工艺研究[J]. 金属加工(热加工),2013(8):69-70.

[6] 禹业晓. 低碳钢堆焊表面改性工艺及其热过程分析[D]. 南昌:南昌大学,2013.

[7] 韩启勇. 采用中间层的高强钢表面堆焊耐腐蚀铜合金工艺及接头性能研究[D]. 苏州:江苏科技大学,2018.

[8] 谷勇. MAG 焊熔池在线监测实验系统的研制及试验研究[D]. 武汉:华中科技大学,2016.

[9] 熊忠琪,邓琦林. 不锈钢堆焊层抗磨损腐蚀性能的试验研究[J]. 电加工与模具,2009(2):40-43.

[10] 黄长伟. 全数字脉冲 MIG 焊接控制系统的设计与实现[D]. 济南:山东大学,2010.

[11] 张丙尧. 管-板自动焊自动定位系统研究[D]. 西安:西安石油大学,2016.

[12] 张金平. 钛管管头焊接工艺研究[J]. 中国化工贸易,2015(34):262.

作者简介：刘永玲（1989—），女，大学本科，助理工程师，主要从事机械设计、材料研发等方面的工作。

收稿日期：2022-02-25

修改返回日期：2022-04-20

编辑：罗 刚