

铜合金与低碳钢异种材质焊接研究

刘广超

沈阳大学 辽宁沈阳 110044

摘要: 将铝青铜粉末堆焊到低碳钢表面, 调节不同焊接电流, 利用金相、线扫描等方法对堆焊层金属的组织进行分析, 并对堆焊层进行腐蚀试验。结果表明: 铝青铜堆焊层在焊接电流为100~130A时, 结合性良好; 铝青铜堆焊层在3.5%NaCl溶液中具有良好的耐蚀性; 当焊接电流为90A时, 堆焊层金属耐蚀性最好, 随着电流增大, 耐蚀性逐渐变差。

关键词: 铜合金; 低碳钢; 显微组织; 线扫描; 耐蚀性

Research on welding of dissimilar materials between copper alloy and low carbon steel

LIU Guangchao

Shenyang University, Shenyang 110044, Liaoning, China

Abstract: Aluminum bronze powder was surfacing to the surface of low-carbon steel. Different welding current were adjusted. The microstructure of metal was analyzed by metallography and line scanning, and corrosion tests were carried out. The test results show that the aluminum bronze surfacing layer has good bonding property when the current is 100~130A. The aluminum bronze surfacing layer has good corrosion resistance in 3.5%NaCl solution. When the current is 90A, the metal corrosion resistance of the surfacing layer is the best, and the corrosion resistance becomes worse with the increase of the current.

Keywords: copper alloy; low-carbon steel; microstructure; line scanning; corrosion resistance

1 序言

金属材料及其零部件在日常使用中会受到自然环境的影响, 当金属与周围介质接触时, 会发生化学或电化学反应而引起金属的腐蚀。如何防止或减少金属腐蚀以延长其使用寿命、提高经济效益, 成为业界学者的研究方向。铜及铜合金具有良好的力学性能、可成形性和导热性, 同时有着很好的耐蚀性。将铜合金堆焊或喷涂在铸铁或钢等零件上可有效提高基体材料的耐蚀性、导热性, 在海洋环境中具有广阔的应用前景。近年来, 许多学者对铜合金的微观组织及力学性能进行了研究, 也有关于铜合金腐蚀行为及脱成分腐蚀机理的研究报道。本文将

铜合金以粉末形式堆焊到低碳钢上, 对堆焊层的结合状态及耐蚀性进行分析研究。

2 试验材料及方法

采用粉末等离子弧堆焊机进行焊接, 焊接参数见表1。

母材选用20钢。堆焊合金粉末为铝青铜合金粉末, 化学成分见表2。

表1 堆焊焊接参数

焊接电流 /A	焊接速度 / (mm/min)	送粉量 / (g/min)	电弧摆动频率 / (次/min)
50~150	150	15	45

表2 铝青铜合金粉末的化学成分（质量分数）（%）

Fe	Al	Ni	Cu
2~4	8~10	5~6	82~84

调节不同焊接电流，在堆焊后的试板上垂直于堆焊层的方向取样。通过宏观及微观组织分析堆焊层的结合状况，并对堆焊层进行线扫描分析元素过渡情况。通过腐蚀试验对比分析不同焊接电流对堆焊层耐蚀性的影响。

3 试验结果与分析

3.1 堆焊层金属的微观组织与结合状态

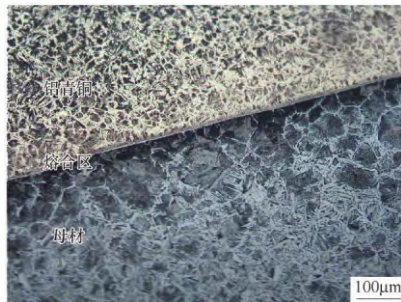
当焊接电流 $<90\text{A}$ 时，堆焊层与母材无法形成良好结合；当焊接电流 $>130\text{A}$ 时，母材侧易产生咬边及部分母材烧熔缺陷；当焊接电流为 $90\sim 130\text{A}$ 时，堆焊层与母材之间可形成良好结合。结合界面包含3部分：合金区、熔合区及母材区，如图1所示。从图1可看出，不同焊接电流下，堆焊层和母材之间的熔合线及熔合区宽度有很大的不同：熔合线由模糊不清到清晰明朗；熔合区的宽度从无到有，并且逐渐变宽。当焊接电流为 130A 时，熔合区宽度达到最大，这主要与堆焊电流的大小即热输入量的多少有关。当堆焊电流为 90A 时，堆焊层的熔合线模糊不清，而且铝青铜堆焊层与母材分隔不明显，堆焊层结合较差（见图1a），这主要是因为堆焊电流较小，热输入较少，液态金属高温停留时间短且活度低，因此元素相关扩散较弱，不足以使母材与合金粉末形成完好的过渡结合。随着焊接电流增大到 110A 时，堆焊层熔合线变得平直清晰，熔合线处有黑色化合物析出，出现了较窄的熔合区，母材与铝青铜之间有一定的过渡，贴近熔合线的铝青铜一侧有少量灰色组织出现（见图1c）。随着焊接电流继续增大，熔合区变宽，铝青铜堆焊层出现少量灰色组织，说明母材中的Fe过渡到了铝青铜一侧，其原因主要是随着焊接电流的增大，热输入增加，堆焊层吸收的热量增多，熔池剧烈运动，元素的热活度增大，促使母材中的Fe向上运动扩散到铝青铜堆焊层，形成较宽的熔合区（见图1e）。

3.2 堆焊层金属的元素变化

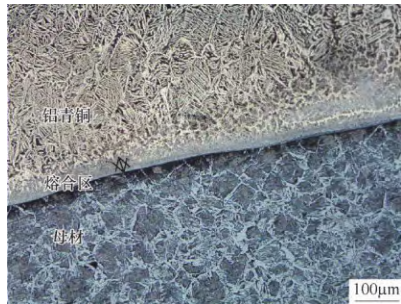
为进一步分析堆焊层的结合性，对不同焊接电流下的铝青铜堆焊层由母材侧到堆焊层一侧进行线扫描分析，观察界面附近的Al、Cu、Fe元素变化情况，结果如图2所示。从图2可看出，因焊接电流的



a) 焊接电流90A



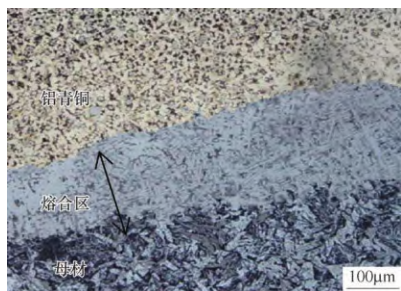
b) 焊接电流100A



c) 焊接电流110A



d) 焊接电流120A



e) 焊接电流130A

图1 不同焊接电流下堆焊层熔合区组织形貌

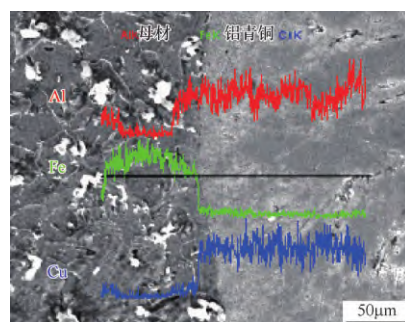
差异, 铝青铜堆焊层与母材的界面结合处附近有明显的变化。当堆焊电流为90A、100A时, 堆焊层熔合线两侧的Al、Cu、Fe元素变化十分突然, 由母材侧到堆焊层侧: Fe元素从有到无呈陡降的变化趋势, Al、Cu元素则从无到有表现出陡升的变化趋势(见图2a、b), 这主要是因为异种材料焊接的热物理性能差异太大, 且堆焊电流较小, 无法使两种材料彼此互熔而很好地结合在一起。当焊接电流继续增大, 热输入增大, 试板吸入的热量足够使两种材料结合并有多余的热量以元素相互运动形式发生扩散现象。当焊接电流继续增大到110A时, 堆焊层实际吸收的热量较多, 促使金属元素的活度增大, 铁元素的过渡开始变得明显, 堆焊层熔合线处开始出现明显的Fe元素波动, 铝青铜侧出现富铁区(见图2c); 而当焊接电流增大到120A、130A时, 堆焊层及基体过热, 致使两者高温液态接触时间加长, Fe元素开始大量渗入铝青铜堆焊层侧, 试件中Al、Cu、Fe元素在熔合层附近的含量变化已经无明显分隔界线, 这说明在界面附近Al、Fe、Cu元素扩散剧烈, 母材侧与铝青铜侧之间有较宽的过渡区域, Al、Cu、Fe含量有很大程度的起伏, 且路径较长, 130A时过渡区变得更宽, 铝青铜组织中黑色富铁区增多, 即堆焊过程中产生了泛铁现象。证实了金相组织的分析结果, 产生了元素扩散现象, 也验证了随着焊接电流的增大, 堆焊层熔合线附近泛铁量的增加。

3.3 堆焊层金属的耐蚀性

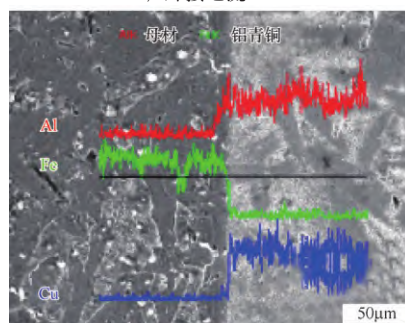
试验模拟堆焊层在海水中的耐蚀性, 海水的氯化钠浓度为3.5%。

(1) 静态腐蚀试验 不同焊接电流下堆焊层金属在3.5%NaCl溶液中的静态腐蚀速率如图3所示。由图3可看出, 铝青铜合金堆焊层的静态腐蚀速率很低, 腐蚀速率均 $<0.04\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 均符合腐蚀标准中的优良级^[1], 说明铝青铜堆焊层在3.5%NaCl溶液中有良好的耐蚀性。当焊接电流为90A时腐蚀速率最小, 随着焊接电流增大, 腐蚀速率也增大。

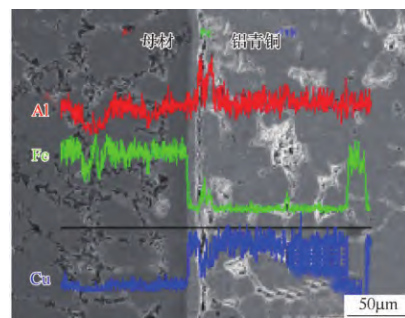
(2) 电化学腐蚀试验 图4所示为试验测得的铝青铜堆焊层的塔菲尔极化曲线。由图4可看出, 不同焊接电流下的塔菲尔极化曲线变化趋势基本一致, 即堆焊层金属超过钝化电位以后, 焊接电流逐渐减小, 焊接电流减小到最低值左右时金属处于钝



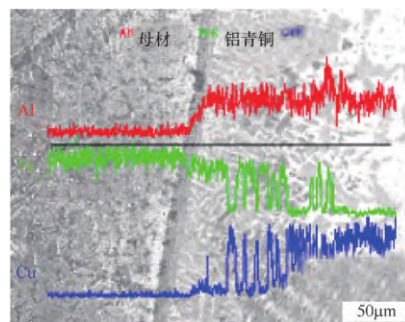
a) 焊接电流90A



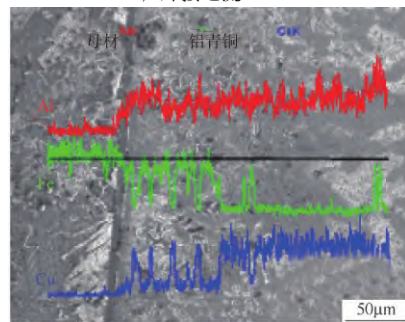
b) 焊接电流100A



c) 焊接电流110A



d) 焊接电流120A



e) 焊接电流130A

图2 不同焊接电流下铝青铜与母材熔合区线扫描分析结果

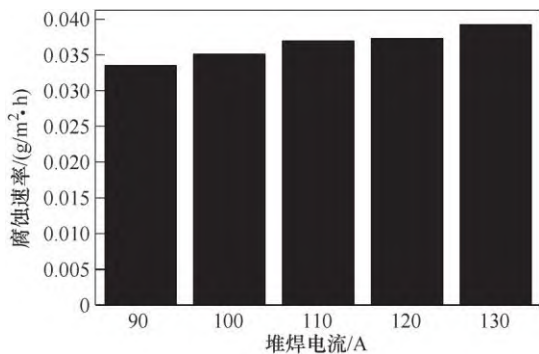


图3 铝青铜堆焊层的静态腐蚀速率

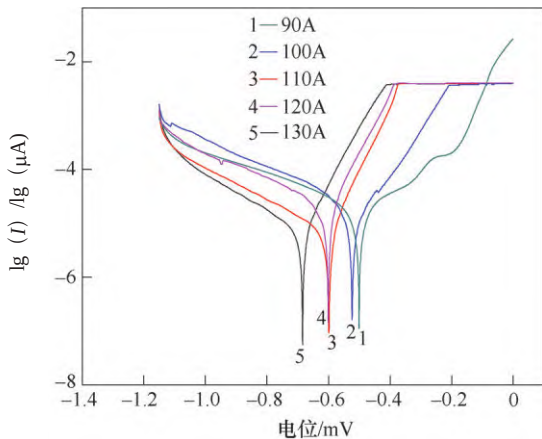


图4 不同焊接电流下铝青铜堆焊层的塔菲尔极化曲线

化状态,在此之后,随着电极电位的升高,焊接电流逐渐增大,金属发生过钝化后腐蚀又开始加剧。

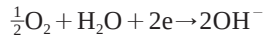
根据极化曲线数据可计算出铝青铜堆焊层在腐蚀介质中的自腐蚀电位,见表3。材料的自腐蚀电位越高,合金的耐蚀性越好^[2]。从表3可看出,堆焊层合金的自腐蚀电位随着焊接电流增大而减小,当焊接电流为90A时,合金的耐蚀性最好,随着堆焊电流的增大,自腐蚀电位明显负移,耐蚀性降低。

表3 不同堆焊电流下铝青铜堆焊层的自腐蚀电位

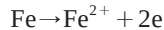
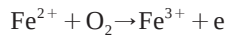
焊接电流/A	90	100	110	120	130
自腐蚀电位/V	-0.5033	-0.5232	-0.5989	-0.6008	-0.684

铝青铜在发生电化学腐蚀时优先发生脱铝腐蚀,即铝青铜合金发生了成分选择性腐蚀,这是由于Cu、Al两组元素之间存在电位差(其中Al的电位是-0.6V,Cu的电位是+0.05V),在3.5%NaCl溶液中形成腐蚀微电池的缘故^[1]。铝青铜堆焊层在NaCl溶液中发生的是氧的去极化腐蚀,Al、Fe元素优先溶解:

阴极反应为



阳极反应为



参照Cu-Al二元合金和Cu-Al-Fe三元合金的平衡相图分析^[3],当焊接电流较小时,热输入少,Fe元素在母材侧几乎没有扩散,堆焊层组织为大量的 α -Cu相上零散分布着少量的 β 相(Cu_3Al)、 γ 相(Cu_9Al_4),几乎看不到 κ 相(AlFe_3 、 AlFe 等);随着焊接电流增大,热输入增多,母材中的Fe元素开始过渡到堆焊层中,提供了 κ 相的形核核心,开始生成 κ 相,而Al、Fe元素优先发生腐蚀,随着焊接电流增大,堆焊层中 κ 相增多,腐蚀速率增大。

电化学腐蚀试验与静态腐蚀试验结果一致,也进一步验证了金相组织及线扫描试验对堆焊层元素扩散跃迁的分析。

4 结束语

1) 铝青铜与低碳钢的堆焊,当焊接电流为100~130A时,结合性良好,堆焊层发生元素扩散。

2) 试验铝青铜合金堆焊层在模拟海洋环境中有着良好的静态腐蚀及电化学腐蚀性能。

3) 当焊接电流为90A时,堆焊层的耐蚀性最好,随着焊接电流的增大,堆焊层与母材间元素扩散加剧,随着Fe元素迁移,堆焊层耐蚀性降低。

4) 综合堆焊层的界面结合性、耐蚀性与焊接电流的关系,焊接电流在100A时性能最好。

参考文献:

- [1] 朱相荣,王相润.金属材料的海洋腐蚀与防护[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 李文生,王智平,路阳,等.高铝青铜Cu-14Al-X合金在3.5%NaCl溶液中的腐蚀行为[J].中国有色金属学报,2006,16(3):512-517.
- [3] 赵祖德,姚良均,郭鸿运.铜及铜合金材料手册[M].北京:科学出版社,1993.

MW 20240609