

等离子堆焊 Q235 电解打壳锤头的组织和性能^{*}

曹红美¹, 张国栋¹, 徐锦飞¹, 孙少波², 韩红兵³

(1. 武汉大学 动力与机械学院 武汉 430072; 2. 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司 宁夏 青铜峡 751603; 3. 中国人民解放军第六四五六工厂 河南 南阳 473000)

摘 要: 采用等离子堆焊技术在 Q235 铝电解打壳锤头表面堆焊 F40 合金粉末熔覆层。利用扫描电镜、能谱仪和显微硬度计等分析等离子堆焊层的微观组织、微区成分和硬度分布。利用磨擦磨损仪对试样进行耐磨性测试,通过恒电位法评估堆焊层和基体的耐蚀性能。结果表明,堆焊层与基体形成了良好的冶金结合,堆焊层为典型的柱状晶组织。等离子堆焊层平均显微硬度为 444 HV_{0.1},为基体的 2 倍;耐磨性为基体的 1.6 倍;腐蚀速率 R_{corr} 为 3.524×10^{-4} mm/a,为基体的 $1/(4.2 \times 10^4)$ 。等离子堆焊后 Q235 钢材料的耐磨性、硬度和耐腐蚀性均有显著提高,有望提高电解铝打壳锤头的耐磨耐蚀性能。

关键词: 堆焊; 铝电解; 耐磨性; 耐蚀性

中图分类号: TG174.44 文献标识码: A 文章编号: 1007-9289(2012)03-0047-05

Microstructure and Properties of Plasma Arc Surfacing Layer on Q235 Crust Breaker for Aluminum Electrolysis Cell

CAO Hong-mei¹, ZHANG Guo-dong¹, XU Jin-fei¹, SUN Shao-bo², HAN Hong-bing³

(1. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072; 2. China Power Investment Corporation Ninxia Qingtongxia Energy Aluminium Group Co., Ltd., Qingtongxia 751603, Ningxia; 3. PLA NO. 6456 Factory, Nanyang 473000, Henan)

Abstract: The F40 alloy powder was deposited on the surface of Q235 crust breaker for aluminum electrolysis cell through plasma arc surfacing. The microstructure, composition and microhardness distribution of the plasma arc surfacing layer were investigated by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrometer (EDS) and microhardness system. The wear resistance and corrosion resistance of prepared samples were evaluated by the friction-wear test machine and constant potential rectifier. The results show that the plasma arc surfacing layer with typical column crystal structure and the matrix metal are obtained well with metallurgical bonding. The average microhardness of the layer was 444 HV_{0.1}, about twice than that of the matrix. The wear resistance of the layer was increased by 1.6 times as large as that of the matrix. The corrosion rate (R_{corr}) was 3.524×10^{-4} mm/a, about 4.189×10^4 times less than that of the matrix. The hardness, wear resistance and corrosion resistance of the material are obviously improved by plasma arc surfacing, and the new material may meet the requirements of the crust breaker for aluminum electrolysis cell.

Key words: overlaying welding; aluminium electrolysis; wear resistance; corrosion resistance

0 引 言

Q235 钢是应用最广泛的一种碳素结构钢,在铝冶炼领域,Q235 以其成本低廉、易于焊接等

特点,成为电解打壳锤头的主要制作材料。而由于铝电解环境的影响,打壳锤头长期工作在强磁场、高温、强电流的条件下^[1],Q235 钢耐磨性和

收稿日期: 2012-05-03; 修回日期: 2012-05-28; 基金项目: * 中电投科技项目(2011074NXLKJX)

作者简介: 曹红美(1989—),女(汉),湖南衡阳人,硕士生;研究方向:先进焊接技术

网络出版日期: 2012-06-04 08:32; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120604.0832.003.html>

引文格式: 曹红美,张国栋,徐锦飞,等. 等离子堆焊 Q235 电解打壳锤头的组织和性能 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(3): 47-51.

耐腐蚀性较低,制约了其服役寿命。为了延长打壳锤头的使用寿命,国内外进行了大量研究,采用整体耐热钢能提高打壳锤头的耐磨性与耐腐蚀性,但是与连杆的焊接易产生焊接裂纹^[2],双金属结构打壳锤头能结合碳素钢锤头与耐热钢锤头的优点,但其铸造过程不易控制,两部分结构易分离^[3]。

等离子堆焊是以等离子弧作为热源,采用合金粉末或焊丝作为填充金属,堆焊时将零件表面以及堆焊材料同时熔化构成熔池,经熔池冷凝固形成堆焊层。其实质上是一种熔化焊工艺^[4]。等离子堆焊具有稀释率低、能量集中、可控性好等优点,堆焊层与母材具有典型的冶金结合,通过添加合金元素形成固溶强化、碳化物及金属间化合物来强化基体,提高堆焊层耐磨性和耐腐蚀性^[5-7]。

表面处理的方式有很多,渗碳、渗氮、渗硼等渗镀方法能在一定程度上提高材料耐腐蚀性,但是由于渗层厚度较薄,一般仅为十几微米到几百微米,恶劣环境下的耐磨性提高程度非常有限^[8]。热喷涂技术中涂层与基体是机械结合,喷砂处理能增强结合强度但砂粒易残留在工件表面,未喷砂处理所制备的涂层附着力差,在使用过程中易发生剥落^[9]。文中采用等离子堆焊技术对 Q235 钢进行表面处理。从显微形貌、微观组织、硬度、耐磨性以及耐腐蚀性等方面分析了等离子堆焊层的组织和性能。

1 试验材料与方法

试验采用大型龙门式数控等离子堆焊机 LU-F630-B2500/3500LM-CNC,堆焊基体为 Q235 钢,其化学成分(质量分数/%)为 0.14~0.22C, Si≤0.30, 0.35~0.65Mn, 余量 Fe。堆焊电流和堆焊电压分别为 140A, 32V, 堆焊材料为 F40 合金粉末,其化学成分(质量分数/%)为 0.1C, 1.5~2.0B, 2.0~2.5 Si, 18~19 Cr, 10~12 Ni, 微量 Mn、V, 余量 Fe。采用线切割,从等离子堆焊试样上截取 5 mm×5 mm×5 mm 的试样,抛光腐蚀后,采用 OLYMPUS-PMG3 型金相显微镜进行显微金相观察;用附带有 EDAX 的 FEI SIRION(Netherlands)场发射扫描电子显微镜进行微观形貌和能谱分析;用 HXS-1000A 显微硬度仪对堆焊试样进行硬度测试;在 MS-T3000 摩

擦磨损试验仪上进行摩擦磨损试验,采用 φ3 mm 的硬质合金球,转速 200 r/min,载荷 1 500 g,测试时间为 300 min;采用恒电位法测试堆焊层和基体的极化曲线,测试仪器为 CS300 恒电位仪,电解质溶液为 18.6% AlCl₃(aq),测试温度为 25 ℃。

2 结果与讨论

2.1 显微组织及成分分析

等离子堆焊试样的光学显微组织如图 1 所示。图 1(a)为堆焊层组织,图 1(b)为熔合线附近组织,图 1(c)为基体 HAZ 的过热区组织。

堆焊试样横截面可以分为堆焊层,熔合区和基体三部分。堆焊层中上层为典型的铸造组织,如图 1(a),细小的柱状枝晶逆着热流方向生长,组织排列较规则;图 1(b)中堆焊层与基体分界线明显,两侧的组织也截然不同,说明等离子堆焊层可以得到低稀释率的合金层;同时可以观察到,靠近基体的堆焊层底层组织为等轴晶,且大多是直接从基体晶粒上形核长大,故界面两侧晶粒连续,呈良好的冶金结合状态,从而使堆焊层与基体结合强度高,不易剥落^[4]。图 1(c)中晶粒长大较明显。这是由于等离子堆焊能量密度大,热量集中,使得靠近堆焊层的基体金属处于过热状态,奥氏体晶粒发生粗化,冷却后便得到粗大的组织。过热区组织可以通过减小等离子弧的线能量等方法得到一定的控制。

堆焊试样横截面的 SEM 显微组织如图 2 所示,左侧为堆焊层,右侧为基体。微区成分能谱分析结果如表 1 所示。其中区域 1、区域 2 和区域 3 分别位于堆焊层、熔合区和基体。熔合线附近元素分布线扫描如图 3 所示,左侧为基体,右侧为堆焊层,元素分布线从上至下依次为 Si、Cr、Mn、Fe 和 Ni。

从图 3 及表 1 中可以看到,在堆焊层内,元素 Cr、Ni 的含量很高,从堆焊层到熔合区直至基体,两者含量逐渐降低,在熔合区内变化幅度较大。而 Si、Cr、Mn、Ni 等 4 种元素均通过熔合区向基体发生了长程扩散,Fe 元素在堆焊层内的含量低于基体,熔合线附近出现了 Fe 元素含量的变化但不明显。因此堆焊层和基体为良好的冶金结合。试验结果表明等离子堆焊能得到稀释率低的涂层,从而防止大量基体的化学元素溶入堆焊层内,改变堆焊层的化学成分和组织结构,

降低堆焊层的性能。故等离子堆焊有利于节约堆焊合金, 充分发挥其优异的性能。

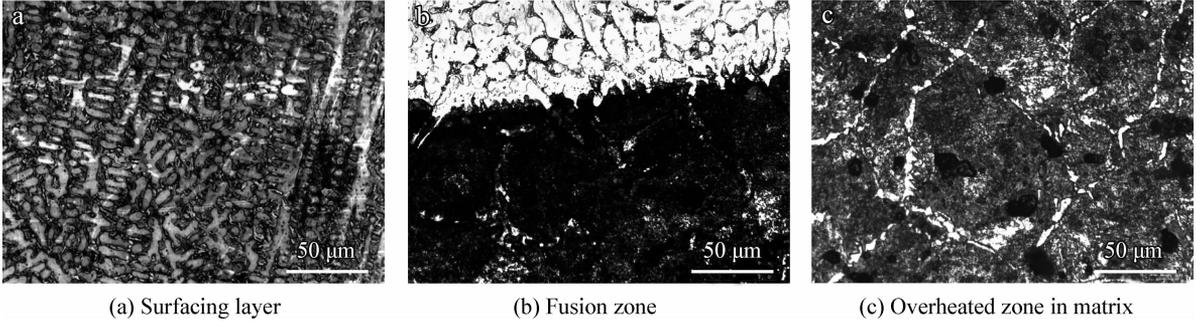


图 1 等离子堆焊试样的显微组织

Fig. 1 Microstructure of plasma surfacing layer

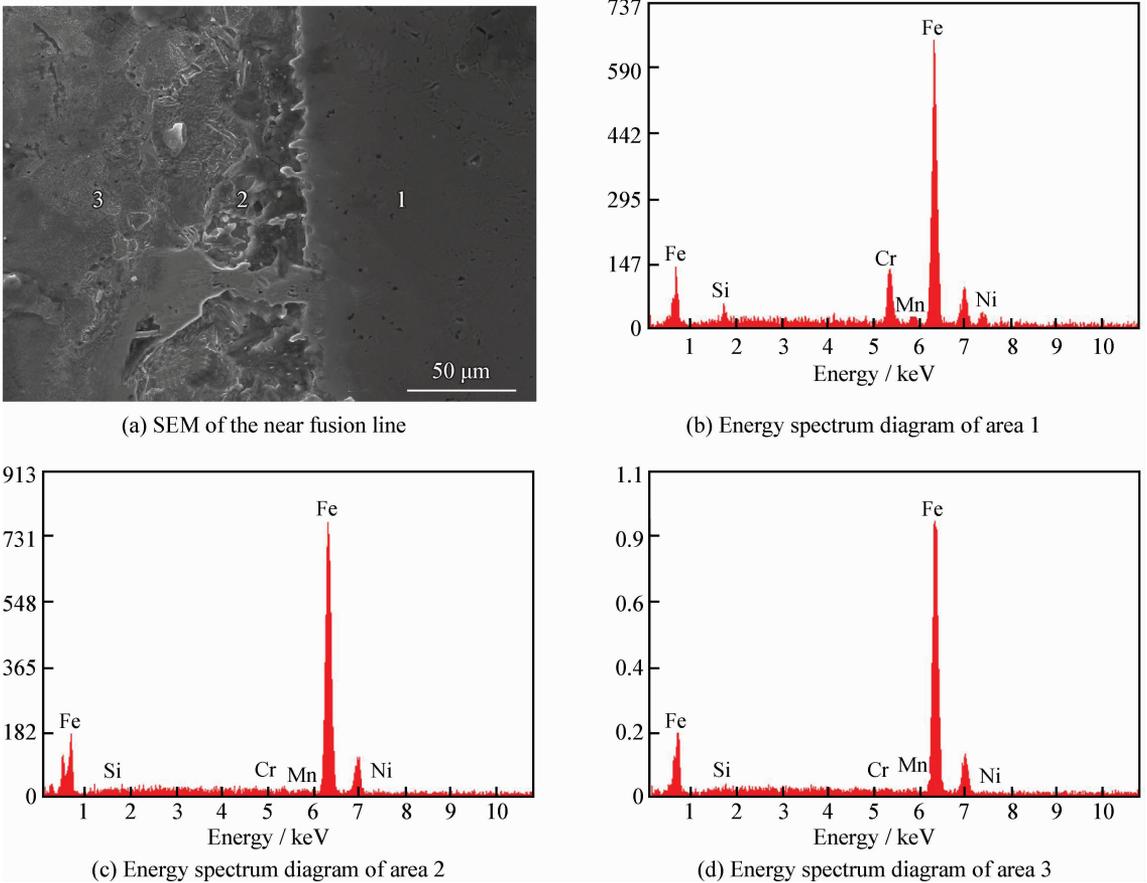


图 2 熔合线附近成分分布

Fig. 2 Composition distribution near the fusion line

表 1 熔合线附近区域元素分布 (质量分数)

Table 1 Element distribution near the fusion line (w/%)

Element	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	C
Area 1	2.32	10.25	1.05	80.48	5.90	
Area 2	0.95	0.79	0.86	83.64	1.01	12.75
Area 3	1.07		1.47	97.46		

2.2 硬度和耐磨性分析

以熔合线为基准, 分别向堆焊层和基体两个方向, 各取间隔为 200 μm 的 5 个测试点, 共 11 个测试点。显微硬度测试结果如图 4 所示, 横坐标距离负值为 Q235 基体, 正值为堆焊层。摩擦磨损试验的结果如表 2 所示。

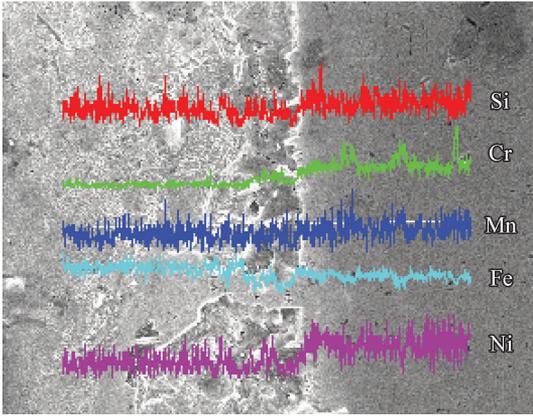


图3 熔合线附近区域元素线扫描结果

Fig. 3 Line scanning of element distribution in fusion zone

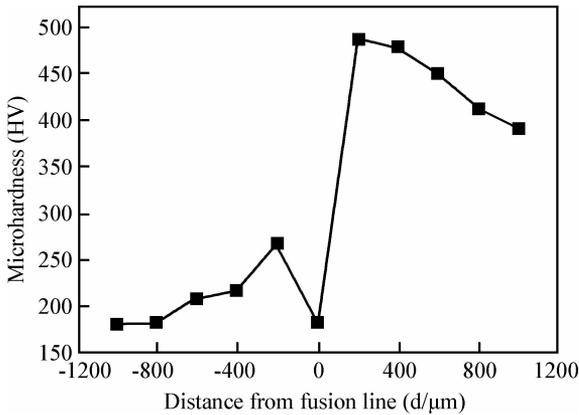


图4 熔合线附近区域元素线扫描结果

Fig. 4 Microhardness near the fusion line

表2 Q235钢和等离子堆焊层硬度及磨损失重

Table 2 Hardness and wear weight-loss of the samples

Sample	Average hardness/ $HV_{0.1}$	Wear weight-loss/g
Q235	211.24	0.0016
Plasma surfacing layer	443.54	0.0010

根据图4可知,沿着基体至熔合线方向,显微硬度不断增大,熔合线附近硬度值变化明显,堆焊层硬度值明显高于基体。这是由于等离子弧堆焊的稀释率低,低硬度的母材对堆焊层的冲淡率很小,使得合金粉末所形成的硬质化合物不被稀释,这些硬质化合物在堆焊层中作为骨架提高了堆焊层的硬度。熔合线为组织的薄弱环节,出现熔合线上硬度偏低原因是堆焊试样时,复合粉末堆焊层中硬质相“沉底”造成的^[10]。根据表2显示,

Q235基体平均显微硬度为 $211 HV_{0.1}$,而堆焊层平均显微硬度达到 $443 HV_{0.1}$,为基体的两倍左右。从摩擦磨损试验失重结果可以计算得相同时间里,Q235的失重量为堆焊层的1.6倍,说明等离子堆焊明显强化了母材,从而提高堆焊层的耐磨性。

2.3 耐腐蚀性

用极化曲线对比渗层和基体的耐蚀性。采用恒电位法,参比电极为甘汞电极(SCE),辅助电极为铂电极。锤头服役环境腐蚀性强,铝电解中的氯离子是高温下锤头产生腐蚀坑的最主要原因之一,则用质量分数为18.6%的 $AlCl_3$ 水溶液作为电解质溶液,测试温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$,在大气下进行测试。试样的有效面积为 1 cm^2 ,其余用环氧树脂密封。将试样用丙酮、酒精和蒸馏水冲洗干净,测定试样浸入腐蚀液中稳定10min后的自腐蚀电位。进行阴极和阳极极化,电位扫描速度 0.5 mV/s ,极化曲线如图5所示,测试参数结果如表3所示。

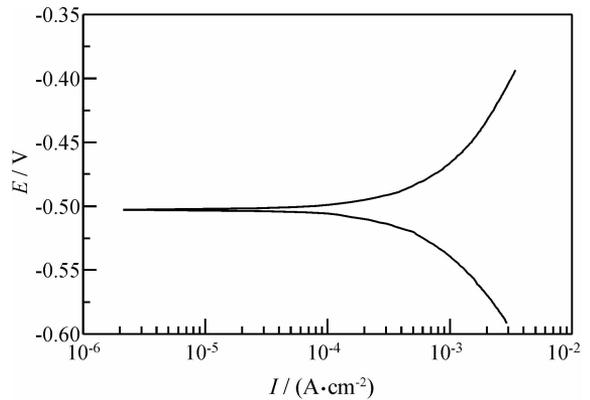
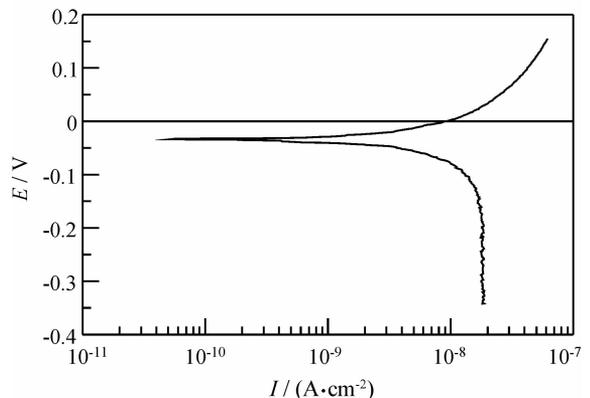
(a) Results of Q235 steel in $AlCl_3$ solution(b) Results of plasma surface layer in $AlCl_3$ solution图5 试样在 $AlCl_3$ 水溶液中的极化曲线Fig. 5 Polarization curves of sample in $AlCl_3$ solution

表3 Q235 钢和等离子堆焊层腐蚀性能对比

Table 3 Corrosion performance comparison of Q235 and plasma surfacing layer

Samples	Corrosion current density/(A · cm ⁻²)	Corrosion potential/V	Corrosion rate / (mm · a ⁻¹)	Relative corrosion rate
Q235	1.255 × 10 ⁻³	-0.503	14.759	4.189 × 10 ⁴
Plasma surfacing layer	2.996 × 10 ⁻⁸	-0.0334	3.524 × 10 ⁻⁴	1

从表3可得,Q235钢经过堆焊处理,耐蚀性大幅提高,在AlCl₃水溶液中的电化学腐蚀速率降低了4个数量级。这是由于添加的合金元素Cr等提高了金属的电极电位,从而有效提高钢的耐蚀性。同时,Cr能与氧等元素在钢的表面快速形成Cr₂O₃钝化膜,该钝化膜致密、稳定并能与铁基牢固结合,从而有效阻碍钢的继续腐蚀。

3 结 论

(1) 等离子堆焊层为典型的柱状晶,基体为珠光体。堆焊层与基体形成了良好的冶金结合。

(2) 试验条件下,等离子堆焊层显微硬度为基体的两倍,耐磨性为基体的1.6倍,而Q235钢腐蚀速率为堆焊层的4.189 × 10⁴倍,表明等离子堆焊能显著提高碳素钢的硬度、耐磨性和耐腐蚀性能。

(3) 等离子堆焊锤头在耐磨性、耐腐蚀性方面均优于现有的普通碳素钢锤头。

参考文献

[1] 周虹,罗爱民,王智堂. 电解槽打壳锤头易消耗原因分析及解决对策[J]. 金属世界,2007(5):20-21.

- [2] 左健. 铝电解打壳锤头[P]. 200610050934.1.
- [3] 高德金. 铝电解槽用双金属抗磨损防溶蚀打壳锤[P]. 200420014301.1.
- [4] 赵唯,柳林,张海鸥,等. 等离子堆焊技术的研究进展[J]. 材料导报. 2005,19(z1):216-221.
- [5] Wang H Y, Zhao K, Cheng Z G, et al. Investigation on the deposition rate and the dilution ratio of plasma surface welding[J]. China Welding. 2002,11(1):55-58.
- [6] Dupont J N. On optimization of the powder plasma arc surfacing process[J]. Metallurgical and Materials Transactions B. 1998,29(4):932-934.
- [7] 蔡幼庆. 等离子弧喷焊铜基合金的组织和耐磨性[J]. 焊接学报. 2003,24(2):93-96.
- [8] 刘念. 几种渗镀处理对45钢表面硬化效果的研究[J]. 科协论坛(下半月). 2009(8):69-70.
- [9] 杨震晓,刘敏,邓春明,等. 热喷涂基体表面预处理技术的研究进展[J]. 中国表面工程. 2012(2):8-14.
- [10] 董丽虹,徐滨士,朱胜,等. 等离子弧堆焊镍基复合粉末涂层材料[J]. 焊接学报. 2005,26(1):37-40.

作者地址:湖北省武汉市武昌东湖南路8号 430072
 武汉大学工学部动力与机械学院九教 A9404
 Tel:(027) 6877 2253(张国栋)
 E-mail: guo_dong_zhang@126.com