

生产应用

1Cr18Ni9Ti 的 TIG 焊接头的电弧表面改性

杭州制氧机集团公司(310004)

王琪明

浙江大学(杭州市 310027)

罗伟

摘要 开展了微束等离子弧对焊接接头的表面改性研究。采用 4 A 微束等离子弧对 1Cr18Ni9Ti 手工钨极氩弧焊(TIG)焊接接头进行表面扫描重熔,观察分析了试样显微组织,测定了重熔前、后试样在 1M H₂SO₄ 溶液中的阳极极化曲线。结果表明,微束等离子弧表面重熔后,由于接头表面重熔层的快速凝固作用,细化了重熔层组织,减小了显微偏析,抑制了铬碳化物在晶界的沉淀,焊接接头的耐蚀性显著提高。

关键词: 1Cr18Ni9Ti 焊接接头 腐蚀 表面改性

TIG 焊 不锈钢

EFFECT OF MICRO-PLASMA ARC SURFACE REMELTING ON THE
CORROSION RESISTANCE OF 1Cr18Ni9Ti TIG WELDING JOINT

Hangzhou Oxygen Plant Manufactory

Wang Qiming

Zhejiang University

Luo Wei

TG457.11
TG444.74

Abstract Surface modification using micro-plasma arc on the welded joint was conducted in the paper. With 4 A micro-plasma arc, the surface of the 1Cr18Ni9Ti tungsten inert-gas (TIG) arc welded joint was scanned by the multipass method. The microstructure was observed using SEM. The polarization curves both with and without remelting were plotted in 1M H₂SO₄ solution. It was found that after remelting, the microstructure was refined and the microsegregation was eliminated. As a result, the corrosion resistance of the joint was significantly improved.

Key words: 1Cr18Ni9Ti, welded joint, corrosion, surface modification

0 前言

目前,高能量密度表面强化研究主要集中在激光束和电子束领域,其中对激光束表面强化的研究更为广泛^[1~2]。等离子弧具有温度高(温度可高达 5×10^4 K)和能量集中(能量密度可达 $10^5 \sim 10^6$ W/cm²)的特点^[3],而微束等离子弧输入线能量较低,因此,只要工艺参数得当,微束等离子弧可通过基体自身快速冷却实现重熔层的快速凝固,从而实现表面改性。

1Cr18Ni9Ti 在焊接过程中由于受焊接热循环的影响,其焊接热影响区(HAZ)的组织 and 耐蚀性较母材会发生变化;焊缝金属耐蚀性则与焊缝金属的组织、填充焊丝金属成分、焊接方法及焊接参数等诸多因素有关,也不同于母材。因此,本文研究了 1Cr18Ni9Ti 的 TIG 焊接接头耐蚀性变化,并将微束等离子弧焊用于焊接接头

的表面改性,即通过微束等离子弧对焊接接头的表面重熔,靠接头自身快速冷却实现重熔层的快速凝固,从而提高接头表面耐蚀性,实现表面改性。研究结果表明,微束等离子弧重熔是一种操作方便且十分有效的表面改性方法,重熔后接头的耐蚀性大幅度提高,从而获得了一种利用高密度能量强化技术提高焊接接头的表面耐蚀性的新方法。

1 实验方法

取钢厂供货的 6 mm 厚 1Cr18Ni9Ti 热轧板材,下料成 400 mm × 200 mm 规格的试板,表面开 V 形槽,焊前清理后进行 TIG 表面堆焊,焊后去除焊缝余高,表面清理后再用微束等离子弧对焊接接头区域表面进行多道连续扫描,使其表面得到均匀的重熔处理。重熔用国产 WLA-10B 微束等离子弧焊机,离子气和保护气为

纯氩,焊接及重熔均为直流正接,参数见表1及表2。

表1 焊接参数

焊接材料	焊材规格 d/mm	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
HOGr20Ni10Nb	3.0	80	12	58

表2 重熔参数

离子气流量 $Q_L/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	保护气流量 $Q_P/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	重熔电流 I/A	扫描间距 a/mm	扫描速度 $v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
0.0135	0.015	4	0.5	16

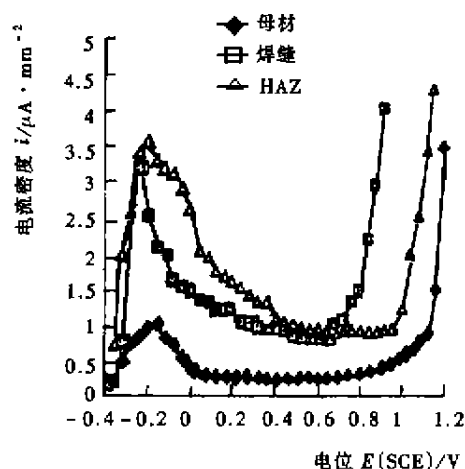
注:扫描间距系指两扫描重熔中心线间距。

为检查微束等离子弧对焊接接头耐蚀性的影响,重熔后对试板母材、HAZ及焊缝金属进行线切割取样,试样经砂纸研磨、抛光、丙酮清洗、烘干后再进行阳极

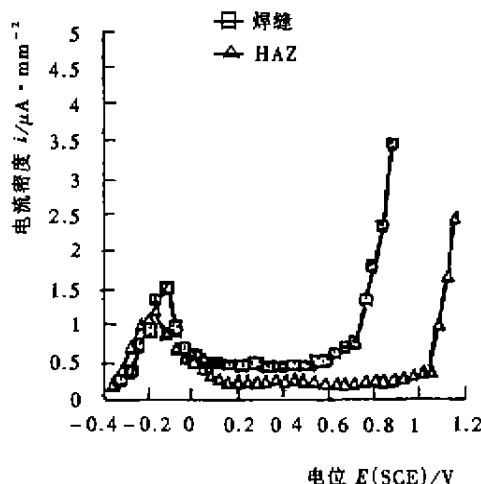
极化曲线测定。极化曲线在室温下测定,测试仪采用HDV-7B晶体管恒电位仪,饱和甘汞电极为参考电极,测试扫描速度为50 mV/5min。电解液为1M H₂SO₄溶液,此外,分别用光学显微镜、扫描电镜(SEM)、X射线衍射(XRD)观察分析了重熔对接头表层组织、相结构的影响。

2 实验结果与分析

重熔前、后试样在1M H₂SO₄溶液中的阳极极化曲线见图1,它们的致钝电流密度 I_{cr} 、维钝电流密度 I_P 、钝化电位 E_{cr} 、过钝化电位 E_{TP} 、钝化区宽度 W_P ($E_F - E_{TP}$)列于表3。可见,焊接接头的抗蚀性与母材相比,有一定程度的降低;而重熔后试样的抗蚀性则有显著的提高。特别是HAZ重熔后,以上各参数与母材值相近,说明其抗蚀性与母材相当。



(a) 重熔前



(b) 重熔后

图1 焊接接头阳极极化曲线

表3 焊接接头试样电化学测试参数

试 样	致钝电流密度 $I_{cr}/\mu\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$	维钝电流密度 $I_P/\mu\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$	过钝化电位 E_{TP}/V	钝化电位 E_{cr}/V	钝化区宽度 W_P/V
母材未重熔	0.99	0.25~0.35	0.85	-0.15	0.06~0.85
焊缝未重熔	3.16	0.82~1.01	0.69	-0.21	0.30~0.69
焊缝重熔	1.47	0.40~0.58	0.66	-0.14	0.00~0.66
HAZ 未重熔	3.53	0.85~1.00	0.94	-0.20	0.42~0.94
HAZ 重 熔	1.14	0.20~0.36	1.00	-0.18	0.14~1.00

2.1 焊缝熔敷金属的耐蚀性

焊缝金属的耐蚀性与诸多因素有关。焊缝金属若为单相的奥氏体 γ ,具有发达的柱状晶特征,晶间腐蚀

倾向较大;若为奥氏体 γ 和铁素体 δ 双相组织,晶间腐蚀倾向有所降低。实践表明,5%左右的铁素体 δ 相可以获得比较满意的抗晶间腐蚀性能^[4]。TIG焊时选用

H0Cr20Ni10Nb 焊丝,通过计算镍当量($Ni_{eq} = Ni + 30 C + 0.5 Mn$)和铬当量($Cr_{eq} = Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 Nb$)并利用舍夫勒(Saefller)图估算出焊缝组织为 $\gamma + (4\% \sim 8\%) \delta$ 双相组织。另外,焊缝金属的耐蚀性除与组织形态有关外,还与是否有贫铬层密切相关,而贫铬层的形成是由铬碳化物在晶界沉淀析出所致。焊接线能量大,焊缝金属含碳量高,都会促使铬碳化物的沉淀,而Ti、Nb等稳定化元素则可以抑制铬碳化物的沉淀。TIG焊时,焊接线能量并不大(本试验为1 kJ/mm),焊丝H0Cr20Ni10Nb含有Nb稳定化元素,但其含碳量并不是超低碳,在焊接1Cr18Ni9Ti时,母材本身虽也含有稳定化元素Ti,但其含碳量较高,焊后焊缝金属含碳量偏高,Nb、Ti稳定化元素数量不足,并不能完全抑制铬碳化物的沉淀,且由于TiN的形成,使焊缝金属的纯净度降低,耐蚀性恶化^[5]。所以,焊缝金属的耐蚀性比母材差。另外,焊缝金属的耐蚀性有所降低还与焊缝金属存在成分偏析以及焊接微观缺陷等有关。

2.2 焊接热影响区的耐蚀性

1Cr18Ni9Ti母材虽含有稳定化元素Ti,但含碳量较高,焊接时受焊接热循环作用,HAZ峰值温度达到(600~1000)℃的部位会出现敏化区,铬碳化物易于在晶界沉淀析出而导致出现贫铬层,致使晶间腐蚀倾向增加;1Cr18Ni9Ti焊后在HAZ紧邻焊缝的过热区还易出现刀状腐蚀^[4~5]。刀状腐蚀是一种特殊形式的晶间腐蚀,也与铬碳化物的沉淀有密切关系。敏化和刀蚀降低了HAZ的耐蚀性。另外,如前文所述,TiN的形成会降低母材的纯净度,也将恶化耐蚀性。所以,用TIG焊接的HAZ耐蚀性要低于母材。

从图1和表2还可以看出,TIG焊时,HAZ的耐蚀性比焊缝稍差,其主要原因是1Cr18Ni9Ti含碳量过高。

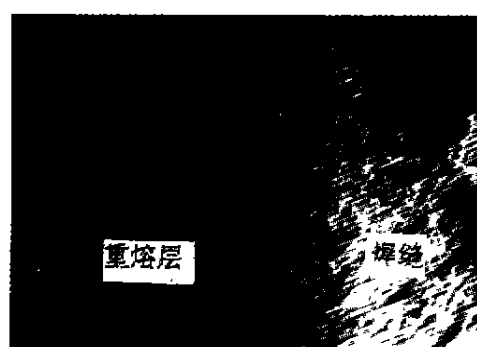
控制焊接线能量或采用强制冷却可减少HAZ处于敏化温度区的时间,抑制铬碳化物的沉淀析出,有利于提高HAZ的耐蚀性。TIG焊的焊接线能量较手工电弧焊、埋弧自动焊要小,其耐蚀性也较好。

2.3 重熔对材料耐蚀性的影响

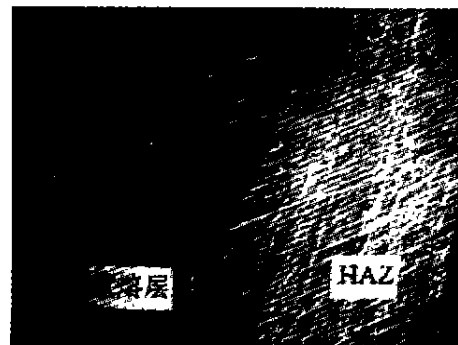
重熔时微束等离子弧弧束最大直径约2 mm,随重熔电流、离子气流量大小略有波动。实验证明,用微束等离子弧对焊接接头进行表面重熔时,由于热量非常集中,焊接接头表层熔化所形成的熔池很小,加之重熔输入的线能量很小,因此,通过焊接接头自身的冷却,而无需外部强制冷却,即可实现熔池液态金属的快速凝固,且试样变形极小。重熔后试样表面留下了均匀

的、连续的长条状扫描条纹,与激光束表面扫描很相似^[1,2,6,7]。由于重熔时有氩气保护,故焊接接头重熔表面氧化轻微。

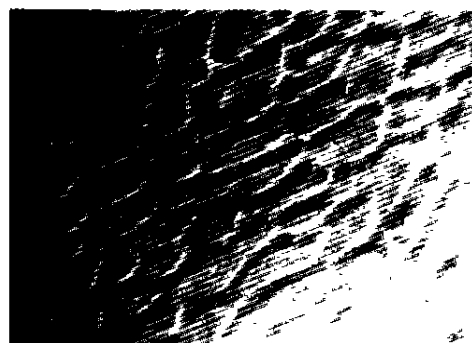
图2为重熔前、后焊接接头试样组织形貌。经实验发现,微束等离子弧重熔时,在一定的范围内,重熔层厚度随重熔电流增大而增大,即随输入线能量增大而增大。在4 A下重熔时,重熔层厚度约为0.12 mm。由图可见,重熔后在靠近表面的重熔区,组织大大细化,焊缝重熔层和HAZ重熔层分别由较为粗大的胞状树枝奥氏体 $\gamma +$ 铁素体 δ 双相组织和奥氏体基体转变为极细的胞状树枝晶。重熔层表面由于结晶速度相对



(a) 焊缝重熔层(1000×)



(b) HAZ重熔层(1000×)



(c) 重熔层表层(5000×)

图2 焊接接头试样组织(SEM)

重熔层靠近基体的部位要慢,且温度梯度相对较小,故此呈胞状晶特征(图 2c)。

重熔使重熔层组织大为细化,晶粒尺寸的减小有利于 Cr_2O_3 致密钝化膜的形成^[8]。重熔也使成分均匀化,减小了显微偏析。由于快速冷却,重熔层处于液态和高温的时间极短,元素扩散受到抑制,抑制了铬碳化物在晶界的沉淀析出,从而抑制了贫铬区的出现。另外,也抑制了 Si、S、P 等杂质元素沿晶界的偏聚。而 Si、S、P 等杂质元素沿晶界的偏聚将导致晶粒间界的优先溶解,增大晶间腐蚀倾向^[5]。这样,重熔层耐蚀性得到明显改善。

就 HAZ 而言,耐蚀性降低主要是焊接时焊接热循环导致的敏化和刀蚀。重熔后 HAZ 的耐蚀性已接近于母材,说明重熔已基本消除了焊接热循环所带来的耐蚀性降低的不利影响。

重熔试样表层 XRD 结果显示,重熔层相结构为奥氏体相加少量的铁素体相,不过 HAZ 重熔层的铁素体相比焊缝重熔层的铁素体相要少。

3 结 论

(1)受焊接热循环作用,1Cr19Ni9Ti 焊接接头 HAZ 局部区域晶粒粗大和局部敏化以及紧邻焊缝的过热区易出现刀蚀,导致其耐蚀性较母材有所降低。

(2)重熔-急冷,细化重熔层组织,将有效抑制重熔层铬碳化物在晶界的沉淀析出,成分均匀化,减小显微偏析,从而提高焊接接头的表面耐蚀性。

(3)微束等离子弧表面重熔,基本上可消除焊接热循环所带来的 HAZ 表面耐蚀性降低的不利影响。

(4)微束等离子弧表面重熔是一种操作简单且非常有效的表面处理方法。通过 4 A 微束等离子弧重熔,1Cr19Ni9Ti 的 TIG 焊接接头表面耐蚀性显著提高。

参 考 文 献

- 1 Laroudie F et al. Hardening of 316 Stainless Steel by Laser Surface Alloying. Journal of Materials Science, 1995, 30 (14)
- 2 Tjong S C et al. Corrosion Behavior of Laser Consolidated Chromium and Molybdenum Plasma Spray Coatings on Fe-28Mn-7Al-1C Alloy. Scripta Metallurgical et Materials, 1994, 31(7)
- 3 姜煊中. 电弧焊与电渣焊. 北京:机械工业出版社, 1980.
- 4 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性. 北京:机械工业出版社, 1992.
- 5 高技术新材料要览编辑委员会. 高技术新材料要览. 北京:中国科学技术出版社, 1991.
- 6 Virtanen S et al. The Effect of Laser Surface Modification on The Corrosion Behavior of Fe and Al Base Alloys. Corrosion Science, 1994, 36 (9)
- 7 Henari F et al. Excimer - Laser Surface Treatment of Metals for Improved Adhesion. Applied Optics, 1995, 34 (3)
- 8 Baer D R et al. Differences in Oxides on Large - and Small - Grained 304 Stainless Steel. Metallurgical Transactions, 1980(9)

(收稿日期 1999 04 28)

作者简介: 王琪明, 1962 年生, 学士, 工程师。

信 息 窗

哈尔滨焊接研究所与哈尔滨有色金属冶炼厂 签约合资办厂

1999 年 9 月 9 日, 哈尔滨焊接研究所与哈尔滨市有色金属冶炼厂签订合资兴办哈尔滨富士特钎料有限责任公司。目前, 国内约有 40 家企业进行钎料生产, 但优等品微乎其微, 美、日、德等国的优等钎料又价格昂贵, 因而市场空间巨大, 每年约在 20 亿元左右, 并正以年均 30% 的速度增长。

哈尔滨有色金属冶炼厂是 1958 年建立的老厂, 一直以收购废铜、生产各种铜型材与合金为业, 由于技术含量低, 利润微薄, 到 1998 年, 全厂千余名职工有 800 人进入了托管中心, 仅剩下一个铜基钎料车间在坚持生产。

老所与老厂合作后, 将借用哈尔滨焊接研究所的技术实力, 由钎焊专家薛松柏出任总工程师, 在现有铜基钎料的基础上, 生产更高档次的银基、铝基钎料, 产品将达到六成优等品四成一等品, 并力争 3 年内形成年产值 5 000 万元, 利润 500 万元的规模。

哈尔滨“焊接城”的建设由此迈出了实质性的一步。

TG4-D