

# 2205 双相不锈钢电解腐蚀新方法

谢晓宇

(上海电气集团股份有限公司 中央研究院, 上海 200070)

**摘要:** 2205 双相不锈钢因具有高耐腐蚀性, 在进行材料性能评定时, 其显微组织很难快速、清晰地显现出来。在现有双相不锈钢腐蚀方法的基础上, 采用草酸、碳酸氢钠、硝酸和甘油的配方, 对腐蚀液进行优化, 运用电解腐蚀的方法, 可以在短时间内得到清晰的双相不锈钢显微组织。

**关键词:** 2205 双相不锈钢; 金相检验; 耐腐蚀性; 电解腐蚀; 显微组织

**中图分类号:** TG178      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-4012(2022)05-0004-03

## New electrolytic corrosion method of 2205 duplex stainless steel

XIE Xiaoyu

(Central Academe, Shanghai Electric Group Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

**Abstract:** Due to its high corrosion resistance, it was difficult to quickly and clearly show the microstructure of 2205 duplex stainless steel in the material performance evaluation. On the basis of the existing corrosion methods of duplex stainless steel, the formula of oxalic acid, sodium bicarbonate, nitric and glycerol was used to optimize the corrosion solution, and the clear microstructure of duplex stainless steel could be obtained in a short period time by using the method of electrolytic corrosion.

**Keywords:** 2205 duplex stainless steel; metallographic examination; corrosion resistance; electrolytic corrosion; microstructure

2205 (022Cr23Ni5Mo3N) 双相不锈钢是第二代新型含氮双相不锈钢, 经过固溶处理后, 其组织中 ferrite 体和奥氏体含量大致相同, 均由铬元素 (质量分数为 22%)、镍元素 (质量分数为 5%) 等主要元素构成。由于双相不锈钢中同时存在奥氏体与 ferrite 体, 因此与单纯的奥氏体不锈钢相比, 晶间腐蚀倾向更小。由于双相不锈钢在敏化温度范围内加热时,  $Cr_{23}C_6$  未在奥氏体晶界析出, 而先在 ferrite 体内析出, 这就使得铬化物不会在晶界处聚集, 从而造成严重的贫铬现象。此外, 双相不锈钢的耐腐蚀性也高于奥氏体不锈钢, 由于 2205 双相不锈钢的两相含量几乎相同, 在许多介质中能达到钝化状态, 故而有较好的耐腐蚀性<sup>[1-2]</sup>, 但优秀的耐腐蚀性却导致双相不锈钢在金相检验中很难得到清晰的显微组织。

## 1 金相检验及原有腐蚀方法

### 1.1 金相检验方法

双相不锈钢经切割→镶嵌→磨制→抛光后得到磨面平整光滑、没有磨痕和变形层的金相试样, 用适当的化学或物理方法对试样的抛光面进行腐蚀, 从而在金相显微镜下可以清晰地显示出金属与合金的内部组织, 这个过程称为金属材料的金相检验<sup>[3]</sup>。

### 1.2 金属材料的电化学腐蚀机理

#### 1.2.1 电化学腐蚀原理

从广义上讲, 金属材料的电化学腐蚀是指金属与导电介质因发生电化学作用而造成的破坏, 也可以认为其是依靠腐蚀电池的阴、阳极反应而进行的腐蚀过程。在生活中, 金属材料的电化学腐蚀处处可见, 如桥梁钢架及露天放置的金属设备在潮湿大气中的腐蚀, 船体、码头及海上采油平台在海水中的腐蚀等。

#### 1.2.2 电解的作用

电解是指在外加直流电源的作用下, 电流通过

收稿日期: 2022-03-07

作者简介: 谢晓宇 (1988—), 女, 工程师, 主要从事金属材料研究工作, 18116022133@163.com

电解质溶液引起电解池的阴、阳两极上发生化学变化,从而将电能转化为电解产物储藏的化学能的过程。电解时,电解质中的阴、阳离子分别向电解池的正、负极,即阳、阴极移动,并分别在电极上得、失电子发生氧化还原反应<sup>[4]</sup>。

电解侵蚀是基于电化学溶解的作用,被侵蚀的试样作为阳极,不锈钢作为阴极,容器中盛放电解液,当接通电流后,由于各相之间与晶粒之间的析出电位不一致,在微弱电流作用下各相的侵蚀程度不同,从而显示各相的组织。

### 1.3 金相检验原有的腐蚀方法

GB/T 26956—2011《金属材料焊缝破坏性试验 宏观和微观检验用侵蚀剂》中规定的侵蚀剂能使普通的不锈钢形成较清晰的显微组织,对于双相不锈钢、超级双相不锈钢和镍基合金等耐腐蚀性较强的材料,其腐蚀效果往往无法达到要求<sup>[5]</sup>。

常用的双相不锈钢腐蚀方法有以下 4 种。

(1) 5 g 氯化高铁、50 mL 盐酸和 100 mL 水,在室温(10~35 ℃)或者加热情况下使用。这种方法耗时较长,盐酸加热会产生毒性物质,对人体伤害大。盐酸的购买、运输、储存及处理都有很高要求。

(2) 热腐蚀法:将 10~15 g 铁氰化钾、10~30 g 氢氧化钠和 100 mL 水混合作为侵蚀剂,将侵蚀剂煮沸后侵蚀试样 5~10 min。这种方法操作复杂,容易过度侵蚀,侵蚀得到的显微组织效果不好。

(3) 中国专利 cn107976459a 公开了一种双相不锈钢金相腐蚀方法:采用体积分数为 10%~20% 的高氯酸酒精溶液电解抛光 20~30 s,电压为 10~20 V,电流为 1~2 A;中国专利 cn103924246a 公开了一种双相不锈钢金相腐蚀方法:侵蚀剂含盐酸 0.065~0.125 g/mL,偏重亚硫酸钾 0.017~0.029 g/mL,在保温条件下侵蚀 10~20 min。以上两种方法均操作复杂,所用高氯酸、偏重亚硫酸钾危险性较高。特别是高氯酸,有强氧化性和腐蚀性,与有机物、还原剂、易燃物等接触或混合时有燃烧、爆炸的危险。

(4) 中国专利 cn103123318a 公开了一种双相不锈钢金相腐蚀液:使用盐酸、苦味酸与无水乙醇的体积比为 5:1:100 的溶液进行侵蚀;中国专利 cn106248460a 公开了一种双相不锈钢金相腐蚀方法:用质量分数为 0.05%~0.3%,pH 不大于 2 的三氯化铁、盐酸水溶液对试样进行侵蚀,再经 450~550 ℃加热、保温、冷却。以上两种方法所得到的显

微组织两相区分度均不高,且被腐蚀相为黑色,与不锈钢中常出现的碳化物等无法区分;苦味酸具有强烈的苦味,高温、接触明火、振动、撞击等都会使其发生爆炸,且可引起慢性中毒,危害人体健康。此外,以上两种方法也容易出现过度侵蚀的情况。

## 2 电解腐蚀新方法验证试验

### 2.1 试验材料及设备

试验主要使用的设备有电解腐蚀装置、整流器(电压为 1~12 V,电流为 0~100 A)、扫描电子显微镜(SEM)、光学显微镜。主要试验材料有草酸、碳酸氢钠、浓硝酸。

### 2.2 试验过程

(1) 将待腐蚀试样用 120~2 000 目砂纸逐级打磨后,用 3.5 μm 和 1 μm 的金刚石研磨膏抛光<sup>[6]</sup>。

(2) 取适量草酸,加少量去离子水溶解,取适量碳酸氢钠,缓慢加入溶液并搅拌,等待溶液中的气泡平静后,加热至微沸并搅拌。待溶液均匀后用移液管缓慢加入少量浓硝酸,使用去离子水定容至 500 mL,最后加入少量甘油,并静置 1 h。其中硝酸与甘油只需要少量即可,草酸与碳酸氢钠的质量比约为 1:1。

(3) 将配置好的腐蚀液放入自制电解腐蚀装置,被腐蚀面面对腐蚀金属板,电压调整为 5 V,对试样进行电解腐蚀。15 s 后将试样取出,一边用棉花轻轻擦拭,一边用去离子水冲洗。

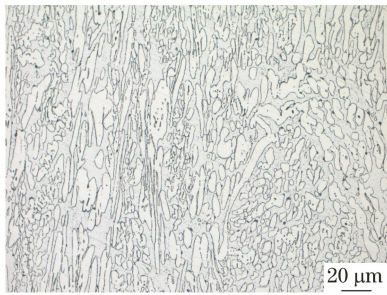
### 2.3 试验结果

将腐蚀产物清洗干净后,用酒精喷撒试样的被腐蚀面,并吹干。采用光学显微镜观察试样,其微观形貌如图 1 所示。从图 1 可以看出:试样中的奥氏体未被腐蚀(凸出,浅灰),铁素体被腐蚀(凹下,白色),边界有少量的碳化物;试样显微组织清晰,两种组织和碳化物区分明显。

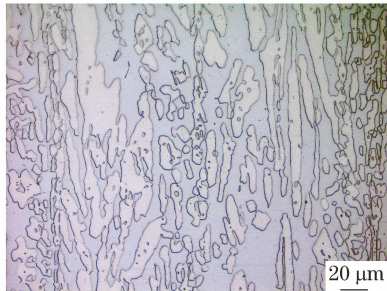
采用 SEM 对试样的被腐蚀面进行观察,其 SEM 形貌如图 2 所示。从图 2 可以看出:试样的奥氏体和铁素体的凹凸显示明显,可以清楚地感受到立体效果。

## 3 结语

(1) 草酸、碳酸氢钠和甘油都是较安全且无毒的化学品,易于购买;硝酸虽然是强酸,但是相较于盐酸和硫酸,使用硝酸降低了实验室在管制化学药



a) 低倍



b) 高倍

图1 试样的微观形貌

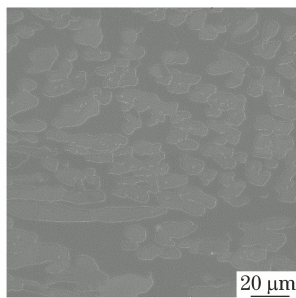


图2 试样的SEM形貌

品的硬件投入和日常管理投入。

(2) 电解腐蚀试验是在常温下进行的,无需加热,整个过程中不产生酸雾,不产生有毒、有刺激性的化学物质,对人体的伤害较轻。

(3) 配置腐蚀液所采用的化学品浓度均较低,试验中电流及电压较小,提高了试验的安全性。电解腐蚀时间短,腐蚀液可以重复使用,提高了工作效率。

(4) 对于除 2205 钢之外的其他双相不锈钢,可以采用适当延长或者降低电解腐蚀时间的方法来获得清晰的显微组织。

#### 参考文献:

- [1] 王健. 2205 双相不锈钢的点蚀及再钝化行为[D]. 大连:大连理工大学,2015.
- [2] 王雅倩. 2205 双相不锈钢在井下环境中的耐蚀性能研究[D]. 西安:西安石油大学,2018.
- [3] 机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会, 中国机械工程学会理化检验分会. 金属材料金相检验[M]. 北京:科学普及出版社,2015.
- [4] TALBOT D E J, TALBOT J D R. Corrosion science and technology[M]. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [5] 张秀荷,代绪成,刘宏,等. 电解腐蚀技术在耐蚀合金焊接接头低倍金相制样中的应用[J]. 焊管,2019,42(11):41-45.
- [6] 刘钊,梁宁. 2205 双相不锈钢微观组织性能研究[J]. 一重技术,2021(2):47-52.