

不同冷却方式对热轧带钢氧化皮结构及其耐蚀性的影响

周贤良^{1,2} 朱敏¹ 华小珍¹ 叶志国¹ 崔霞¹ 邹爱华¹

(1. 南昌航空大学材料科学与工程学院 南昌 330063; 2. 南昌航空大学 无损检测教育部重点实验室 南昌 330063)

摘要: 利用不同冷却方式在 SS400 热轧带钢表面形成了不同结构的氧化皮, 通过腐蚀形貌宏观观察、SEM、EDS、XRD、失重法、干湿周期浸润腐蚀加速实验和电化学方法对不同结构氧化皮的热轧带钢在 NaHSO₃ 溶液中腐蚀行为进行了研究。研究表明, 不同冷却方式下所制热轧带钢的氧化皮均主要由 Fe₃O₄ 组成, 另含有 Fe₂O₃ 和 Fe。随着冷却速度的减小, 氧化皮中 Fe₃O₄ 的含量增加, 但未发现有 FeO; 随炉冷却所制热轧带钢的氧化皮较厚且均匀, 并存在分层现象 (外层为 Fe₂O₃, 内层为 Fe₃O₄+Fe), 在 NaHSO₃ 溶液中耐蚀性最好; 装罐冷却所制氧化皮较均匀平整, 耐蚀性次之; 自然空冷所制氧化皮存在着较多的缺陷, 耐蚀性最差。

关键词: 冷却方式 氧化皮 腐蚀行为 耐蚀性

中图分类号: TG172.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-4537 (2010) 04-0323-06

1 前言

热轧带钢具有良好的强韧性, 易于加工成型及良好的可焊接性等优良性能, 因而被广泛用于船舶、汽车、桥梁、建筑和压力容器等^[1]。热轧是个高温生产过程, 包括板坯再加热、粗轧、精轧、层流冷却、卷取和钢卷冷却几个主要步骤^[2]。热轧带钢一般不用表面涂油或严密包装等防锈措施, 在产品运输和贮存过程中其表面容易锈蚀。这种锈蚀现象除了增加用户的除锈工序和成本以外, 还会进一步影响用户企业的生产工艺流程。可见, 如何提高热轧带钢的表面质量和耐蚀性能已经成为热轧产品研究的焦点问题^[3]。

热轧带钢在整个热轧生产过程中持续处于高温并暴露在空气中, 表面易生成氧化皮。其氧化皮的结构是影响表面性能及耐蚀性的主要因素之一。热轧带钢在高温轧制过程中的各种因素, 如加热温度、冷却方式、环境中的氧含量及加热时间都会影响氧化皮的结构及组成。

本文通过模拟热轧带钢卷取及卷取后的冷却过

程, 采用热处理在 SS400 热轧带钢基体上制备出了不同结构的氧化皮, 研究了不同冷却方式对氧化皮微观结构的影响。同时探讨了热轧带钢氧化皮在模拟含 SO₂ 污染环境中的腐蚀行为及机理, 并采用干湿周期浸润腐蚀实验、极化曲线及电化学阻抗谱测试技术研究了不同结构氧化皮的耐蚀性, 为如何提高热轧钢的耐蚀性能提供了参考依据。

2 实验方法

实验采用宝钢生产的 SS400 热轧带钢为原材料。其化学成分 (mass%) 为: C 0.12~0.20, Mn 0.6~0.90, Si≤0.30%, S≤0.030, P≤0.030。将原材料切割成 10 mm×10 mm×3 mm 小试样。然后依次经过除油, 除锈, 打磨, 乙醇清洗和吹风机吹干。根据 Fe-O 相图可知, 570 °C 为共析转变温度, 当加热温度高于 570 °C 时, 可以发生相变生成 Fe₂O₃, Fe₃O₄ 和 FeO, 再通过控制冷却方式得到所需的结构, 当氧化温度过高时, 氧化非常剧烈, 氧化皮中的应力大, 形成的氧化皮很容易脱落。所以实验选取氧化温度为 600 °C, 氧化时间为 35 min, 冷却方式分别为随炉冷却、装罐冷却及自然空冷。

干湿周期浸润腐蚀实验仪器采用 BNF-I 周期浸润腐蚀试验箱, 实验溶液温度为 45 °C ±2 °C, 箱内湿度设定为 70 °C ±10 °C; 实验模拟工业大气下 (SO₂) 的腐蚀, 实验溶液为 0.01 mol/L NaHSO₃, pH 值为 4.4~4.8; 循环周期为 60 min±3 min, 其中浸润时间为 12 min±1.5 min, 腐蚀采样周期分别为 24 h、48

定稿日期: 2009-10-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50871051)、教育部无损检测重点实验室基金项目 (ZD200729003)、江西省教育厅重点实验室基金项目 (DB200901399) 及江西省自然科学基金项目 (2009GZC5009) 资助

作者简介: 周贤良, 男, 1957 年生, 教授, 研究方向为钢铁高温氧化、大气腐蚀及金属基复合材料

通讯作者: 周贤良, E-mail: zmii2009@163.com

h、96 h 和 120 h。腐蚀产物的清除按照 GB/T16545-1996 国家标准^[4]进行。用失重法计算不同结构氧化皮的腐蚀速率,用 ADVANCE-D8 型 X 射线衍射仪及 EDS 分析不同冷却方式下形成的氧化皮相组成,借助 4XB-TV 型金相显微镜和 QUANTA200 型扫描电镜观察氧化皮的截面结构、腐蚀前后的表面形貌及缺陷。

用 PARSTAT2273 腐蚀电化学测试系统对不同氧化皮热轧带钢进行极化曲线和交流阻抗谱测试。实验用三电极体系,以铂电极为辅助电极,饱和甘汞电极(SCE)为参比电极,带氧化皮的试样为研究电极。电化学测试的溶液由分析纯级 NaHSO_3 和蒸馏水配制,浓度为 0.01 mol/L ,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,电极面积为 1 cm^2 。动电位极化曲线测定时,扫描速度为 0.5 mV/S 。阻抗测量使用频率响应分析程序(FRA),阻抗谱测试的频率范围为 $100 \text{ kHz}\sim 10 \text{ mHz}$,交流信号电压的振幅为 5 mV ,测试电位为试样在 $0.01 \text{ mol/L NaHSO}_3$ 溶液中的开路电位。实验的阻抗数据由 Nyquist 和 Bode 图谱显示,用电路元件代号描述数据,并使用 EQUIVCRT 软件对等效电路进行拟合和分析。

3 结果与讨论

3.1 不同热轧带钢氧化皮的组织结构

不同冷却方式下所制热轧带钢氧化皮的截面形貌(图 1)表明,随炉冷却所制氧化皮的厚度较厚且均匀,并存在有分层现象(图 1a);装罐冷却试样的氧化皮与基体的界面结合处局部区域有小裂缝,氧化皮厚度较均匀平整(图 1b);自然空冷试样的氧化皮存在着大量的缺陷,氧化皮与基体的界面处有相对较宽的裂缝,氧化皮中有裂纹,呈现断续现象,局部区域的氧化皮破碎,呈现出大颗粒特征(图 1c)。由此可知,冷却方式对热轧带钢氧化皮的组织结构有明显的影响。在冷却过程中,由于基体与氧化皮的热膨胀系数不同而产生应力^[5],当应力积聚到一定程度,必将通过氧化皮的变形或开裂来释放。显然,自然空冷由于冷却速度很快,产生较大的应力,使氧化皮产生较多的缺陷。

图 2 为不同冷却方式下所制热轧带钢氧化皮的 XRD 图谱。可见,不同冷却方式下所制热轧带钢的氧化皮各相衍射峰的强度不同,但均含有 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 和 Fe。其中 Fe_3O_4 相的衍射峰(37° , 57° , 62°)强度均较大,随炉冷却所制氧化皮中 Fe_3O_4 的衍射峰强度最大,其含量最多;自然空冷所制氧化皮的 Fe_3O_4 衍射峰较少,其含量比其他两种氧化皮的要少。随炉冷却和装罐冷却所制氧化皮中 Fe 的衍射峰强度较高,而自然空冷所制氧化皮中 Fe 的衍射峰强度较低。由

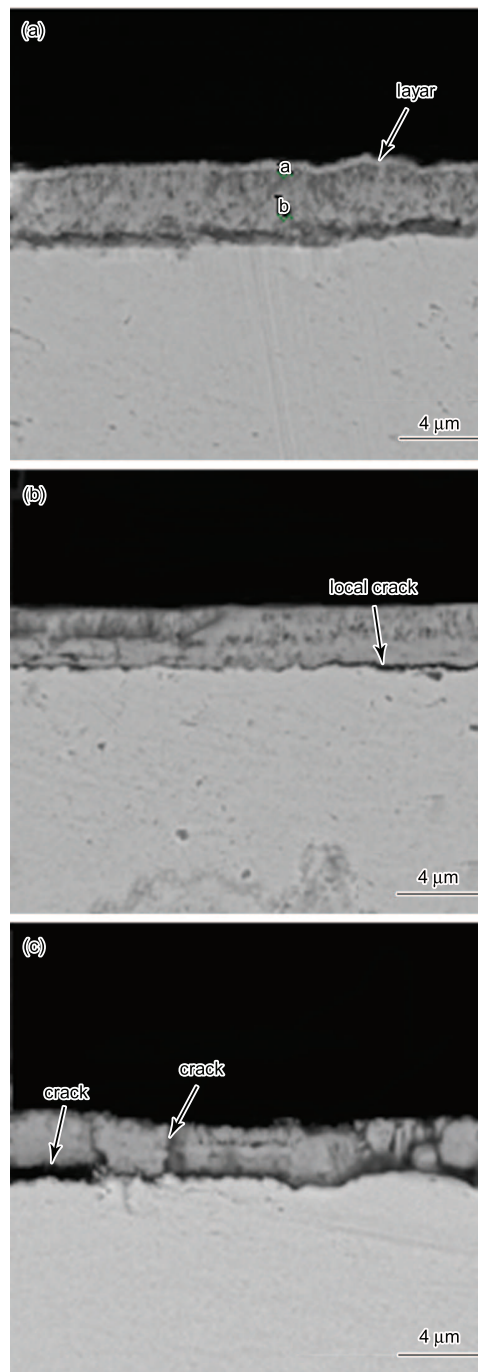


Fig.1 Cross-section morphology of oxide scales formed on the strip by different cooling methods (a) furnace cooling, (b) jar cooling, (c) air cooling

此可见,不同冷却方式下所制热轧带钢的氧化皮均主要由 Fe_3O_4 组成,另含有 Fe_2O_3 和 Fe。随着冷却速度的减小,氧化皮中 Fe_3O_4 的含量增加,但未发现有 FeO。 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 形成的高温 FeO 在较低温度下($<570 \text{ }^\circ\text{C}$)处于亚稳定状态,在冷却过程中会通过先共析和共析反应向 Fe_3O_4 和 Fe 转变^[6~10],在连续的冷却过程中,几乎不可能抑制 FeO 向 Fe_3O_4 的转变,并且随着冷却速度的减慢,这种转变会越来越彻底^[11~13]。从 Fe-O 系的 $\Delta G^\theta-T$ 图^[14]可知: $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下高温相 FeO 相稳定存在区域很窄,因而在 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 形成的

FeO 几乎完全转变成 Fe_3O_4 和 Fe。

从图 1a 可知, 随炉冷却所制氧化皮分为两层结构, 对此氧化皮逐层进行能谱分析(表 1) 显示, 外层氧化皮的含氧量略高于内层氧化皮中的含氧量。已知 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 两相中 O 的质量分数(30%、27%)和原子分数(60%、57%), 对照表 1 中的数据可确定外层氧化皮为 Fe_2O_3 , 内层为 Fe_3O_4 。而共析反应析出的 Fe 存在于 Fe_3O_4 层中, 所以结合图 1a 及图 2 分析可知, 随炉冷却所制氧化皮是由外层很薄的 Fe_2O_3 层和内层很厚的 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$ 组成。

3.2 不同氧化皮热轧带钢的腐蚀失重分析

图 3 为不同冷却方式下所制热轧带钢氧化皮在 0.01 mol/L NaHSO_3 溶液中干湿周浸后的失重数据与腐蚀时间的关系曲线。可知, 在同样的腐蚀时间内, 随炉冷却热轧带钢的腐蚀失重最小, 装罐冷却的腐蚀失重较大, 自然空冷的腐蚀失重最大。

图 4 是不同冷却方式下所制热轧带钢氧化皮在

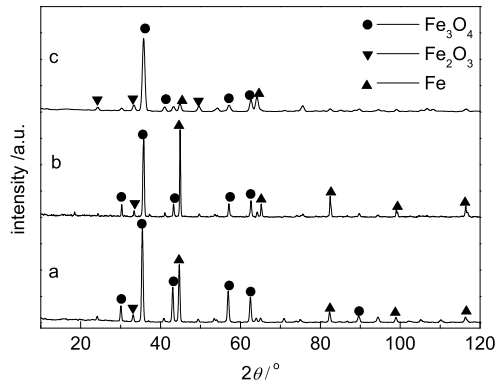


Fig.2 XRD patterns of oxide scales formed on the strip by different cooling methods (a) furnace cooling, (b) jar cooling, (c) air cooling

Table 1 Components of oxide scales prepared by furnace cooling

layer	mass%		at.%	
	Fe	O	Fe	O
a (outer layer)	68.62	31.38	38.45	61.55
b (inner layer)	71.84	28.16	42.16	57.84

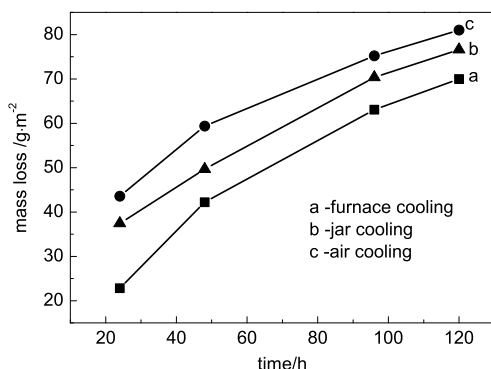


Fig.3 Mass loss of hot rolled strips prepared by different cooling methods as a function of corrosion time

腐蚀 96 h 后的表面形貌, 直观地反应了不同结构氧化皮耐蚀性的差异。SEM 发现, 去除腐蚀产物后, 自然空冷试样上有很多大而深的腐蚀坑, 密密麻麻分布在表面上, 腐蚀坑已经连成一遍, 试样被腐蚀的相当严重(图 4c); 而随炉冷却试样上则只有较少的腐蚀坑, 腐蚀相对较轻, 表面保留得较完整(图 4a)。因此, 由图 3 和图 4 可知, 热轧带钢在随炉冷却下制备的氧化皮耐蚀性最好, 装罐冷却其次(图 4b), 自然空冷最差。

热轧带钢氧化皮耐蚀性的不同可能是由以下几个原因造成的: (1) 氧化皮生长及冷却过程中产生的应力大小可能决定氧化皮中缺陷的多少及缺陷的程度, 这将不同程度地影响腐蚀的进行。自然空冷由于

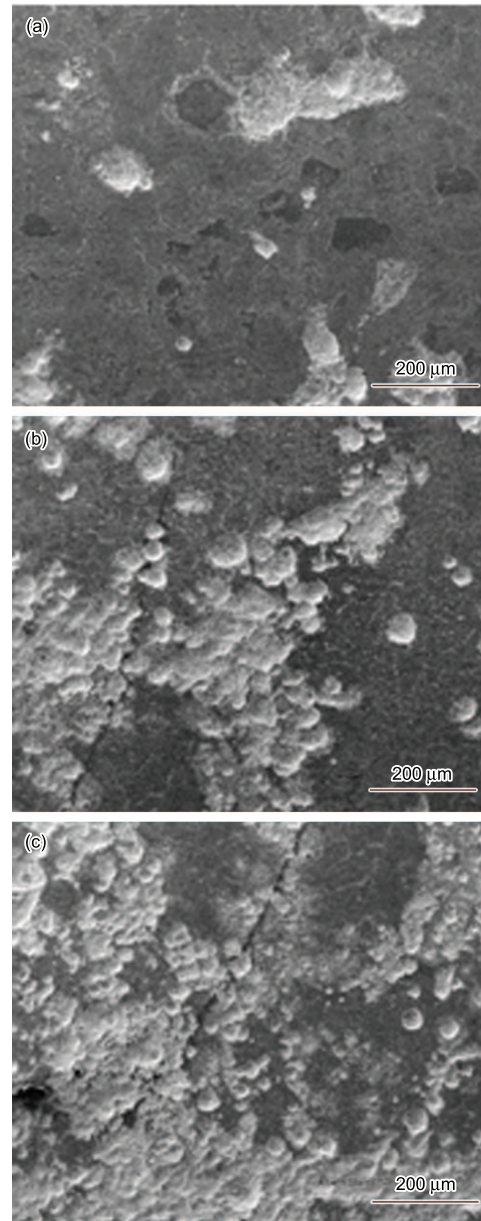


Fig.4 Surface morphology of hot rolled strips prepared by different cooling methods after 96 h dry-wet periodic immersion test (a) furnace cooling, (b) jar cooling, (c) air cooling

冷却速度很快,产生较大的应力,导致其氧化皮产生的缺陷较多(开裂倾向大,氧化皮破碎呈现颗粒状),使腐蚀加速进行;随炉冷却及装罐冷却其冷却速度较缓,产生的应力较小,制备的氧化皮的致密性较好且缺陷相对较少;(2)氧化皮的厚度对腐蚀也具有一定的影响,氧化皮越厚,越有利于阻止腐蚀的进行。随炉冷却所制氧化皮的厚度最大,自然空冷所制氧化皮的厚度最薄;(3) Fe_3O_4 是一种很致密和耐蚀性很好的物相,显然,此种物相的含量越多,氧化皮的耐蚀性应越好。从XRD分析结果可知,随炉冷却所制氧化皮含有最多的 Fe_3O_4 相,自然空冷所制氧化皮含有的 Fe_3O_4 相最少;(4)当氧化皮的分层时,溶液离子通过氧化皮渗入到基体的过程更加曲折,腐蚀进行的难度增加,将更利于阻止腐蚀的进行。随炉冷却所制氧化皮是由外层很薄的 Fe_2O_3 层和内层很厚的 $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{Fe}$ 组成。上述几个要素的综合作用从而得出了不同冷却方式下所制氧化皮的耐蚀性规律。

3.3 极化曲线

图5为不同冷却方式所制氧化皮热轧带钢在0.01 mol/L NaHSO_3 溶液中的极化曲线。可知,随着冷却速度的减小,极化曲线左移,腐蚀电位正移。此图还可读出不同试样的自腐蚀电位和自腐蚀电流,如表2所示,自然空冷条件下制得氧化皮的自腐蚀电位最低,随炉冷却制得的氧化皮的自腐蚀电位最高,装罐冷却居中,故自然空冷试样的自腐蚀倾向大,随炉冷却试样的自腐蚀倾向最小;从表中还可知自然空冷试样的自腐蚀电流最大,随炉冷却试样的自腐蚀电流最小,这说明自然空冷试样的腐蚀速率最大,

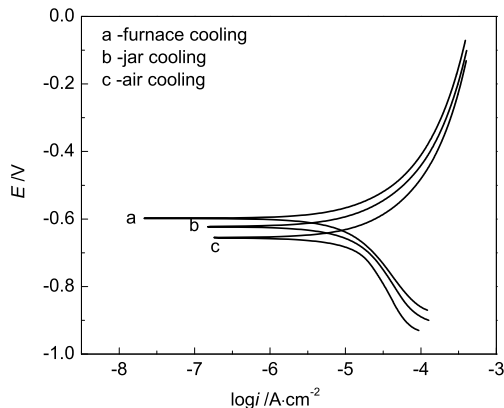


Fig.5 Polarization curves of oxide scales formed on the strip by different cooling methods in NaHSO_3 solution

Table 2 Corrosion potential and current density of oxide scales prepared by different cooling methods in NaHSO_3 solution

cooling methods	$E_{\text{corr}} / \text{V}(vs.\text{SCE})$	$i_{\text{corr}} / \text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$
air cooling	-0.651	7.518×10^{-5}
jar cooling	-0.623	6.531×10^{-5}
furnace cooling	-0.596	5.521×10^{-5}

随炉冷却试样的腐蚀速率最小。分析表明随炉冷却所制氧化皮在 NaHSO_3 环境中最耐蚀,其次为装罐冷却,自然空冷试样的耐蚀性最差。这与干湿周期浸润腐蚀试验得出的规律相一致。

3.4 电化学阻抗

不同冷却方式所制氧化皮热轧带钢的电化学阻抗谱如图6所示,由Nyquist曲线和Bode图可知:随炉冷却的电化学阻抗谱由高频和低频两个容抗弧组成,Bode图显示存在两个峰,可知有两个时间常数;装罐冷却试样的电化学阻抗图由高频容抗弧、中频以及低频的三个容抗弧组成,存在着三个时间常数;自然空冷试样则由高频容抗弧和中频容抗弧及低频Warburg阻抗组成,具有三个时间常数。

从电化学阻抗谱可知,随炉冷却热轧带钢试样具有两个容抗弧,表明其具有两个电容,其中一个电极表面与溶液的双电层电容,另一个是溶液离子

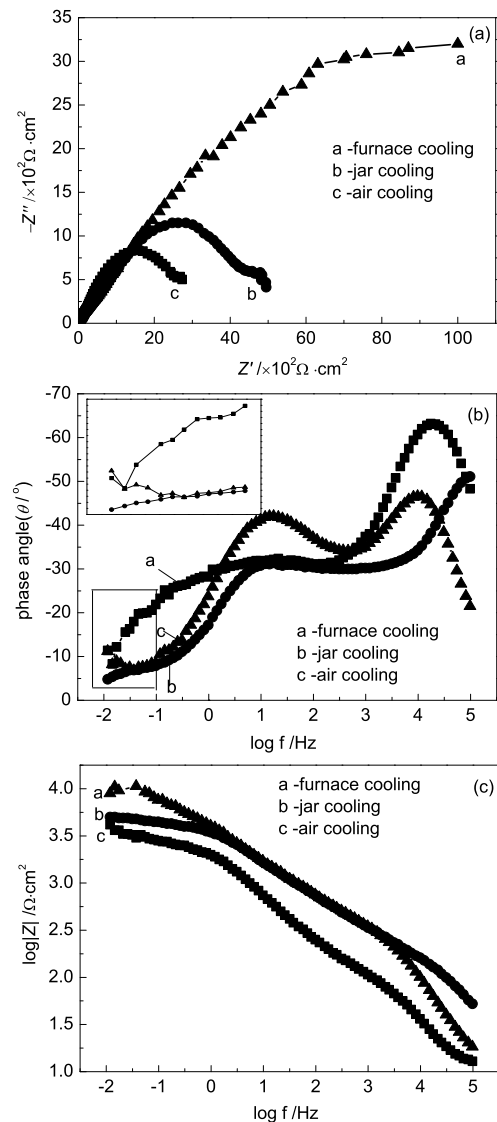


Fig.6 Impedance diagram of SS400 hot rolled steels covered by oxide scales prepared by different cooling methods (a) Nyquist plots, (b) Bode plots of phase angle, (c) Bode plots of $\log |Z|$

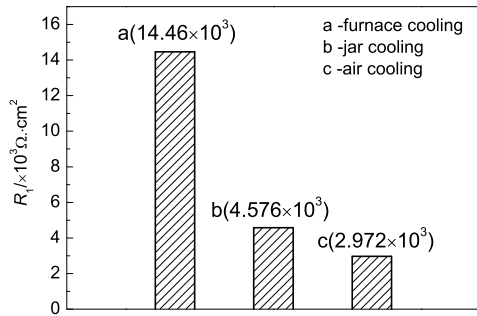


Fig.7 Charge reaction resistance (R_1) of oxide scales prepared by different cooling methods in NaHSO_3 solution

通过氧化皮的孔隙渗入到其中形成的膜电容。随炉冷却试样之所以只有两个时间常数,这是因其氧化皮的缺陷较少,离子通过其缺陷渗入到金属基体的概率减少,而且其氧化皮呈现分层现象,能有效阻挡离子的通过,从而阻止了溶液对基体的严重腐蚀,从图 4a 中可看出随炉冷却热轧带钢发生较轻微的腐蚀。文献 [15] 认为,材料表面的膜疏松多孔时,腐蚀速率将受到扩散控制,而从图 1c 自然空冷所制氧化皮的截面结构可知,其氧化皮存在大量的缺陷,如裂缝,裂纹,孔隙和断续等,这些缺陷导致钢基体局部区域暴露,由于氧化皮与金属基体二者电化学性质不同,在电解质溶液通过缺陷渗入到基体的情况下将构成氧化皮/碳钢电偶,促进钢铁的腐蚀 [16]。而另一情况是由于自然空冷试样的氧化皮存在着大量的缺陷,溶液离子很容易通过这些缺陷提供的通道渗入到金属基体界面,造成金属基体的快速发生电极反应;随着反应时间的延长,腐蚀从缺陷处的界面沿着缝隙进行扩展,导致全面发生腐蚀可能 [17,18],严重腐蚀基体 (图 4c),电极反应的发生依靠传导到基体界面的离子,所以腐蚀速率受到扩散控制。故自然空冷试样的阻抗谱中出现有 Warburg 阻抗。从装罐冷却试样的 Nyquist 曲线和 Bode 图可知其阻抗谱中存在着高、中、低频的容抗弧。当膜中存在有缺陷导致局部腐蚀时 (图 4b),低频区还会附加容抗弧。膜的缺陷如孔隙则会导致点蚀,点蚀区域是腐蚀的活性点,局部腐蚀速率较大,这种电极受活化控制,因此在阻抗中会出现附加的容抗弧 [15]。

对不同冷却方式下所制氧化皮热轧带钢阻抗谱进行拟合,拟合采用的等效电路分别是:随炉冷却为 $R_S(Q_1(R_1(Q_2R_2)))$;装罐冷却为 $R_S(Q_1(R_1(Q_2R_2)))(Q_3R_3)$;自然空冷为 $R_S(Q_1(R_1(Q_2(R_2W))))$,其中 R_1 为电荷反应电阻,其拟合值分别是:随炉冷却为 $14.46 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$,装罐冷却为 $4.576 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$,自然空冷为 $2.972 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。由 Nyquist 曲线也可以看出,随炉冷却的低频容抗弧的半径最大,其次为装罐冷却,自然空冷的容抗弧的半径最小。图 7 为各拟

合等效电路对应的电荷反应电阻 R_1 。可知,随着冷却速度的减小, R_1 逐渐增大,随炉冷却的电荷反应电阻最大,对电极反应进行的阻力最大,能有效地阻止腐蚀的产生。这说明氧化皮对基体的保护作用增强 [19]。即电化学阻抗谱得出的耐蚀性规律与干湿周浸及极化曲线的结果是一致的。

4 结论

(1) 随炉冷却所制热轧带钢的氧化皮较厚且均匀,并存在分层现象 (外层为 Fe_2O_3 , 内层为 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$), 缺陷较少;装罐冷却所制氧化皮较均匀平整,氧化皮局部区域存在裂缝;自然空冷所制氧化皮的缺陷最多,界面结合处有较宽的裂缝,氧化皮中有裂纹,且呈现断续现象,局部氧化皮破碎表现为大颗粒特征。

(2) 不同冷却方式下所制热轧带钢的氧化皮均主要由 Fe_3O_4 组成,另含有 Fe_2O_3 和 Fe 。随着冷却速度的减小,氧化皮中 Fe_3O_4 的含量增加,但未发现有 FeO 。

(3) 在 NaHSO_3 溶液中,干湿周期浸润腐蚀加速实验、极化曲线及电化学阻抗谱结果均表明不同冷却方式所制氧化皮的热轧钢耐蚀性由强到弱依次为:随炉冷却、装罐冷却、自然空冷。

参考文献

- [1] He A H. The effect of Oxide Film on the Electrochemical Corrosion Behaviors of Hot Rolled Steel [D]. Master Thesis of Ocean University of China, 2007
(何爱花. 热轧钢板氧化膜对基体碳钢腐蚀电化学行为的影响 [D]. 中国海洋大学硕士论文, 2007)
- [2] Academic Committee of Hot Rolled Strip of Metal Committee of China. Roller Machine of Hot Rolled Broadband Steel and Production Technology of Roller Machine [M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2002
(中国金属学会热轧板带学术委员会编著. 中国热轧宽带钢轧机及生产技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002)
- [3] Qi H B, Ying B H. Corrosion and protection of steel products [J]. World Iron Steel, 2006, 6 (4): 29-37
(齐慧滨, 应白桦. 钢铁产品的腐蚀与防护 [J]. 世界钢铁, 2006, 6(4): 29-37)
- [4] GB/T 16545-1996 Removal of corrosion products from corrosion test specimens of metals and alloys [S]. Beijing: National Quality Supervision, 1996
(GB/T16545-1996 金属和合金的腐蚀试样上腐蚀产物的清除 [S]. 北京: 国家技术监督局, 1996)
- [5] Li M S, Xin L, Qian Y H, et al. A review on studies of internal stress in oxide scales [J]. Corros. Sci. Prot. Technol., 1999, 11(5): 300-305
(李美栓, 辛丽, 钱余海等. 氧化膜应力研究进展 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 1999, 11(5): 300-305)
- [6] Chaklander A C D, Blair G R. Differential thermal study of FeO and Fe_3O_4 [J]. J. Therm. Anal., 1970, 2: 165-179

- [7] Chen R Y, Yuen W Y D. A study of the scale structure of hot-rolled steel strip by simulated coiling and cooling [J]. *Oxid. Met.*, 2000, 53(5/6): 539-560
- [8] Kim J W, Choi J W, Lee D B. Characterization of oxide scales formed on low carbon steel between 1100 and 1250 °C in air [J]. *Met. Mater. Int.*, 2005, 11(2): 131-134
- [9] Bhattacharya R, Jha G, Kundu S, et al. Influence of cooling rate on the structure and formation of oxide scale on low carbon steel wire rods during hot rolling [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 2006, 201: 526-532
- [10] Shi J, Wang D R, He Y D, et al. Reduction of oxide scale on hot-rolled strip steels by carbon monoxide [J]. *Mater. Lett.*, 2008, 62: 3500-3502
- [11] Gleeson B, Hadavi S M M, Young D J. Isothermal transformation behavior of thermally-grown wüstite [J]. *Mater. High Temp.*, 2000, 17: 311-319
- [12] Chen R Y, Yuen W Y D. Review of the high-temperature oxidation of iron and carbon steels in air or oxygen [J]. *Oxid. Met.*, 2003, 59(5/6): 433-468
- [13] Chen R Y, Yuen W Y D. Oxide-scale structures formed on commercial hot-rolled steel strip and their formation mechanisms [J]. *Oxid. Met.*, 2001, 56(1-2): 89-118
- [14] Li M S. *High Temperature Corrosion of Metals* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2001
(李美栓. 金属的高温腐蚀 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001)
- [15] Chen C F, Lu M X, Zhao G X, et al. Electrochemical characteristics of CO₂ corrosion of well tube steels with corrosion scales [J]. *J. Chin. Soc. Corros. Prot.*, 2003, 23(3): 139-143
(陈长风, 路民旭, 赵国仙等. 腐蚀产物膜覆盖条件下油套管钢 CO₂ 腐蚀电化学特征 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2003, 23(3): 139-143)
- [16] Sun W H, Tieu A K, Jiang Z Y, et al. High temperature oxide scale characteristics of low carbon steel in hot rolling [J]. *J. Mater. Process. Technol.*, 2004, 155-156: 1307-1312
- [17] Xiao K, Dong C F, Li X G, et al. Study on accelerated corrosion tests for carbon steel and weathering steels [J]. *Equip. Environ. Eng.*, 2007, 3(4): 5-8
(肖葵, 董超芳, 李晓刚等. 碳钢和耐候钢加速腐蚀实验研究 [J]. 装备环境工程, 2007, 3(4): 5-8)
- [18] Chen Y Y, Tzeng H J, Wei L I, et al. Corrosion resistance and mechanical properties of low alloy steels under atmospheric conditions [J]. *Corros. Sci.*, 2005, 47(4): 1001-1021
- [19] Li J B, Zuo J E. Influence of temperature and sulfur ion on carbon dioxide corrosion behavior of N80 steel [J]. *Corros. Sci. Prot. Technol.*, 2009, 21(1): 44-47
(李金波, 左剑恶. 温度和硫离子对 N80 钢 CO₂ 腐蚀电化学行为的影响 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2009, 21(1): 44-47)

INFLUENCE OF DIFFERENT COOLING METHODS ON CORROSION RESISTANCE OF OXIDE SCALE STRUCTURE OF HOT ROLLED STRIP

ZHOU Xianliang^{1,2}, ZHU Min¹, HUA Xiaozhen¹, YE Zhiguo¹, CUI Xia¹, ZOU Aihua¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063;

2. Key Laboratory of Nondestructive Test, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

Abstract: Different structures scales were formed on the surface of SS400 hot rolled strip with different cooling methods. Corrosion behaviors of hot rolled strip with different oxide scales were investigated in sodium bisulfite solution by SEM, EDS, XRD, accelerated cyclic wet-dry immersion corrosion test, polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The results showed that three kinds of oxide scales prepared by different cooling methods mainly consisted of Fe₃O₄, as well as a spot of Fe₂O₃ and Fe. The content of Fe₃O₄ increased with cooling rate reducing, but FeO was not detected. Oxide scale prepared by furnace cooling on the strip consisted of the outer Fe₂O₃ layer and the inner Fe₃O₄+Fe layer, and its thickness was more thick and homogeneous than the rest scales. Oxide scale prepared by jar cooling was homogeneous, but that prepared by air cooling had a lot of defects. Corrosion resistance of strip prepared by furnace cooling was best in 0.01 mol/L sodium bisulfite solution, but that of strip prepared by air cooling was worst.

Key words: cooling method, oxide scale, corrosion behavior, corrosion resistance