

双相不锈钢2605N与铁素体不锈钢Cr30的腐蚀性能

鲍崇高¹, 潘继勇²

(1. 西安交通大学材料科学与工程学院, 陕西西安 710049; 2. 沈阳铸造研究所, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 以双相不锈钢2605N和铁素体不锈钢Cr30为研究对象, 比较了两种材料的显微组织与力学性能, 并分别进行了化学浸泡腐蚀试验和含3.5%NaCl溶液的电解腐蚀试验, 分析了试验材料的腐蚀失效形式。化学浸泡腐蚀试验结果表明, Cr30的腐蚀速率是2605N的7倍多; 电解腐蚀试验揭示了2605N腐蚀失效的主要形式是小孔腐蚀, 而Cr30的腐蚀失效形式同时包含晶界腐蚀和小孔腐蚀; 双相不锈钢材料中合金元素形成致密的氧化膜 (Cr₂O₃、NiO等) 是其耐腐蚀性能优越的主要原因, 而Cr30材料中基体与碳化物间存在的电位差引起相界腐蚀, 并且碳化物的耐腐蚀性较差导致Cr30的耐腐蚀性能变差。

关键词: 双相不锈钢; 铁素体不锈钢; 晶界腐蚀; 小孔腐蚀

中图分类号: TG174.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4977 (2010) 10-1024-03

Corrosive Resistances of Duplex Stainless Steel 2605N and Ferrite Stainless Steel Cr30

BAO Chong-gao¹, PAN Ji-yong²

(1. School of Materials Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China; 2. Shenyang Research Institute of Foundry, Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract: Ferrite stainless steel Cr30 and duplex stainless steel 2605N were chosen as research subjects to compare their microstructures and mechanical properties. Corrosion tests with 3.5% NaCl solution and electrolytic solution for duplex stainless steel 2605N and ferrite stainless steel Cr30 were carried out to analyze the corrosion pattern. The research results show that corrosion rate of ferrite stainless steel Cr30 is 7 times as fast as that of duplex stainless steel 2605N in the chemical immersion corrosion; the main corrosion failure form of duplex stainless steel 2605N is pitting corrosion, but pitting corrosion and crystal boundary corrosion coexist in the corrosion of ferrite stainless steel Cr30 in the electrolytic corrosion; superior corrosion resistance of 2605N benefits from the high density film (Cr₂O₃, NiO), while the poor corrosion resistance of Cr30 results from the crystal boundary corrosion caused by the potential difference between the carbide and the matrix, and the poor corrosion resistance of the carbides.

Key words: duplex stainless steel (DSS); ferrite stainless steel; crystal boundary corrosion; pitting corrosion

矿山、石油领域的设备及沿海建筑物、航海船体等, 所处环境氯化物含量高, 因此会产生严重的冲蚀磨损、应力腐蚀和局部腐蚀等失效^[1-3], 实际工况中存在着严重的冲蚀腐蚀现象, 为此要求所用材料应具有优良的耐冲蚀腐蚀性能^[4-6], 具有铁素体和奥氏体双相结构的不锈钢已广泛应用于上述领域中^[7-8]。目前, 国内冲蚀磨损腐蚀材料使用量最大的传统不锈钢 (90%) 难以满足上述苛刻的工况要求, 如常用的0Cr18Ni9Ti奥氏体钢, 耐腐蚀性能较好, 但抗磨性较差。

抗冲蚀磨损、腐蚀不锈钢材料研究具有重要的意义和工程应用价值。本研究针对含磷化工浆料工况, 选择双相不锈钢2605N和铁素体不锈钢Cr30两种材料,

比较了试验材料显微组织与力学性能, 并分别进行了化学浸泡腐蚀试验和含3.5%NaCl溶液的电解腐蚀试验, 分析了试验材料的腐蚀失效形式, 研究结果为工业工况应用提供了良好的选材依据。

1 试验材料及其力学性能

试验材料化学成分见表1。经过酸性FeCl₃盐酸溶液侵蚀后, 金相组织分布如图1所示, 试验材料的X射线衍射图谱见图2。可以看到, 双相不锈钢2605N的显微组织均为铁素体 (F, 白色) + 奥氏体 (A, 灰黑色), Cr30不锈钢的组织为铁素体 (F, 白色) + 碳化物 (Cr₂₃C₆型), Laica图像分析仪测定的2605N的两相

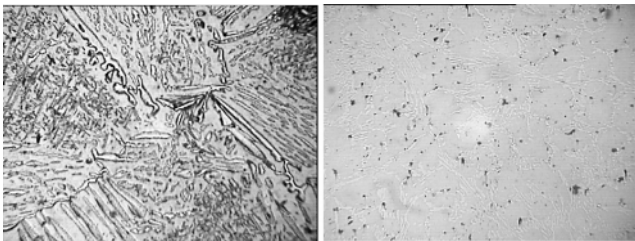
比例约为13.9%奥氏体和86.1%铁素体；Cr30组织中Cr₂₃C₆型碳化物体积分数约占3.6%。表2是试验材料组织中各相的显微硬度值，可以看到双相不锈钢组织中两相硬度都较低（奥氏体相对较高），Cr30组织中Cr₂₃C₆型碳化物具有较高的硬度，为抗冲蚀磨损的主要硬质相。试验材料的力学性能测试结果见表3，双相不锈钢材料具有更好的韧性。

表1 双相不锈钢2605N和铁素体不锈钢Cr30的化学成分

Table 1 Chemical composition of duplex stainless steel 2605N and ferrite stainless steel Cr30

材料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N
2605N	0.052	0.85	0.79	24.71	4.92	1.67	2.36	0.130
Cr30	0.012	0.36	0.48	29.05		1.79		0.012

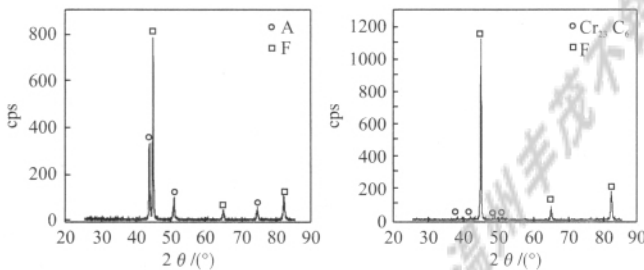
注：P、S含量很少，所以均未化验分析。



(a) 2605N (b) Cr30

图1 试验材料显微组织形貌 200×

Fig. 1 Microstructures of the test materials



(a) 2605N (b) Cr30

图2 试验材料的X射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray patterns of the test materials

表2 试验材料显微硬度测试结果

Table 2 Test results of microhardness of the test materials

材料	显微硬度HV	
2605N	铁素体263	奥氏体430
Cr30	铁素体269	碳化物949

表3 试验材料力学性能

Table 3 Mechanical properties of the test materials

材料	屈服强度σ _{0.2} /MPa	抗拉强度σ _b /MPa	伸长率 /%	冲击韧性 (J·cm ⁻²)	硬度HB
2605N	340	600	19	102	240
Cr30	520	780	14	78	286

法。腐蚀介质选用含磷化工浆料（表4），磷酸浆料中含有较多的Cl⁻、F⁻、SO₄²⁻等离子，腐蚀磨损比较严重，浆料的固含量也较高（31%~34%），冲蚀磨损也比较严重，因此该介质较好地模拟了材料恶劣的服役环境。其他试验条件，腐蚀温度：(81±1)℃，腐蚀时间：72 h，冷却方式：炉冷。

试验材料的腐蚀速率比较见表5，可以看出2605N双相不锈钢的腐蚀速率远低于Cr30铁素体不锈钢，Cr30的腐蚀速率是双相不锈钢材料的7倍多。图3是试验材料化学浸泡腐蚀后微观失效形貌，不锈钢材料腐蚀表面均有起伏不平的腐蚀产物，伴有少量浅蚀坑，腐蚀表面总体比较均匀。

表4 磷酸浆料组成

Table 4 Composition of phosphoric acid slurry

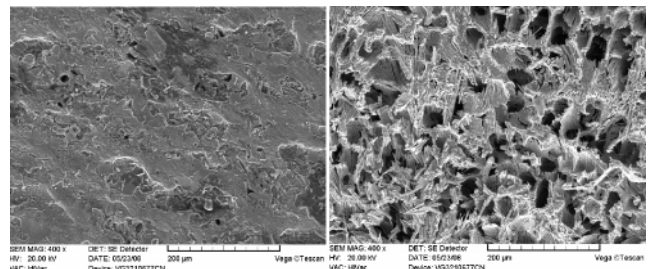
P ₂ O ₅	Fe	Al	Mg	Cl	F	SO ₄ ²⁻
48	0.7~0.8	0.3~0.4	0.4~0.5	0.2~0.4	1~1.2	1~1.5

注：浆料的固含量为31%~34%，pH≈1。

表5 试验材料的腐蚀速率比较

Table 5 Comparison of corrosion rate between the two test materials

材料	腐蚀速率/(g·mm ⁻² ·a ⁻¹)	耐腐蚀性
2605N	1.19×10 ⁻⁶	7.44
Cr30	1.60×10 ⁻⁵	1.00



(a) 2605N (b) Cr30

图3 试验材料化学浸泡腐蚀后微观失效形貌

Fig. 3 Microstructure of the failure surface of the test materials after chemical etch

2.2 电解腐蚀试验

电解腐蚀是考察材料耐腐蚀性能的另一主要方法^[9]，主要由阳极过程（金属溶解失去电子）、电流的流动和阴极过程（吸收阳极电子）等三个环节组成。本试验条件为3.5%NaCl溶液，室温。试验过程：首先调解电压至0.4 V腐蚀5 min后干燥试样表面进行观察并记录，然后调节电压为0.6 V腐蚀10 min后干燥试样表面进行观察并记录，电压值不变继续腐蚀10 min后干燥试样表面进行观察并记录（电流不可调）。

当电压为0.4 V腐蚀5 min后，只有Cr30的电解液呈现黄绿色，其他两组电解液观察不到有明显变化。说明Cr30的电解液中已经溶解了较多的金属离子，金属材料失去更多。随着施加电压的增高，或腐蚀时间的延长，其他两组材料的电解液也转变为黄绿色，

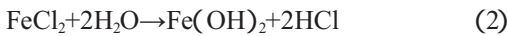
2 试验材料腐蚀试验结果与分析

2.1 化学浸泡腐蚀试验

参照GB/T 19291—2003标准，腐蚀试验采用增量

表明材料的腐蚀程度加重^[10-12]。

试验前采用pH试纸测定的电解液为中性 (pH=6.9), 电解腐蚀试验后测试的2605N所在电解液的pH在3~4之间; Cr30所在电解液的pH在2~3之间。pH值降低, 加速了阳极的溶解, pH值越低, 酸性越强, 由式 (1) 和式 (2) 反应可知, 溶液中产生的Fe²⁺越多, 材料经电解腐蚀后的质量损失越大。



从试验材料在通有电流的3.5%NaCl溶液中的电解腐蚀SEM形貌 (图4) 可以看到, 2605N材料腐蚀失效主要是小孔腐蚀, Cr30为小孔腐蚀和晶间腐蚀。随着施加电压的增高或腐蚀时间的延长, 2605N材料蚀孔孔径明显变大, 但是晶界变化不明显, 而Cr30试样表面则进一步变暗淡粗糙, 晶界变宽, 且表面蚀坑逐渐增多。由于碳化物的耐腐蚀性差, 而且基体与碳化物间存在的电极电位差引起相界腐蚀, 这造成Cr30腐蚀更加严重。

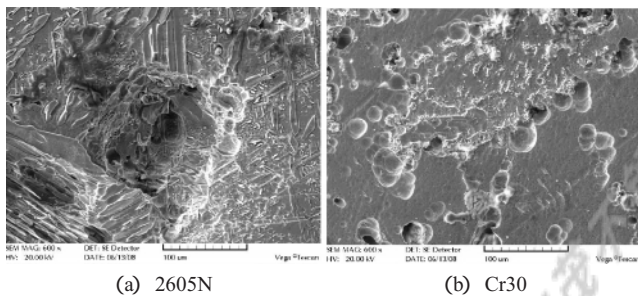


图4 试验材料电解腐蚀表面SEM形貌

Fig. 4 SEM morphology of corrosion surface of test materials

上述腐蚀试验结果反映了双相不锈钢材料和铁素体不锈钢不同腐蚀机理, 双相不锈钢材料耐蚀性较好的一个重要因素是高Cr、Ni、Mo、Cu等合金元素形成的致密抗氧化膜 (Cr₂O₃、NiO), 提高了该材料耐腐蚀性能; Cr30材料表面有全面的、较深的腐蚀坑, 与双相不锈钢材料相比腐蚀更严重, 其主要原因是由于该材料组织中的碳化物耐腐蚀性差, 并且基体与碳化物间存在电位差引起相界腐蚀。

3 结论

(1) 化学浸泡腐蚀试验结果表明, Cr30的腐蚀速

率是双相不锈钢2605N材料的7倍多, Cr30材料表面有全面的、较深的腐蚀坑, 比双相不锈钢2605N腐蚀表面严重。二种材料的腐蚀失效形式不同, 2605N腐蚀失效的主要形式是小孔腐蚀; 而Cr30的腐蚀失效形式是晶界腐蚀和小孔腐蚀。

(2) 合金元素所形成的致密抗氧化膜 (Cr₂O₃、NiO等) 是双相不锈钢材料耐化学浸泡腐蚀性能优越的主要原因, Cr30腐蚀严重的主要原因是材料组织中存在的碳化物耐腐蚀性差, 基体与碳化物间存在的电位差引起相界腐蚀。

参考文献:

- [1] 姜晓霞, 李诗卓, 李曙. 金属的腐蚀磨损 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 196-416.
- [2] Stott F H, Breakell J E. The influence of corrosion on the wear of cast iron in sulfuric acid solution [J]. Wear, 1989, 135: 119-134.
- [3] 黄淑菊. 金属腐蚀与防护 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988: 2-6.
- [4] Passaglia E. The economic effects of corrosion research [J]. Corrosion, 1979, 35 (3): i-ii.
- [5] Gibson R G, Havden H W, Brophy J H. Properties of stainless steels a micro duplex structure [J]. ASM Trans., 1968, 61: 85-93.
- [6] Havden H W, Floreen S. The deformation and fracture of Stainless steels having micro duple structures [J]. ASM Trans., 1968, 61: 474-488.
- [7] 路新春, 姜晓霞, 李诗卓, 等. 双相不锈钢腐蚀磨损机理初探 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 1994, 14 (4): 297-303.
- [8] 路新春, 李诗申, 张天成, 等. 固溶处理温度对双相不锈钢在硫酸介质中腐蚀磨损行为影响 [J]. 金属学报, 1994, 30 (4): 159-164.
- [9] Ribeiro M A, Sasaki J M, Tavares S S M, et al. The use of X-ray diffraction microscopy and magnetic measurements for analyzing microstructural features of a duplex stainless steel [J]. Materials Characterization, 2005, 54: 387-393.
- [10] Kordatos J D, Fourlaris G, Papadimitriou G. The effect of cooling rate on the mechanical and corrosion properties of SAF 2205 (UNS 31803) duplex stainless steel welds [J]. Science Materials, 2001, 44: 401-408.
- [11] Hsieh R I, Liou H Y, Pan Y T. Effects of cooling time and alloying elements on the microstructure of the Grebblesimulated heat affected zone of 22% Cr duplex stainless steels [J]. J. Material Science Perform., 2001, 10 (5): 526-536.
- [12] ASM Speciality Handbook: Stainless Steels [M]. 1994.

(编辑: 刘冬梅, ldm@foundryworld.com)