

0Cr18Ni5 和 AF1410 高强度钢的腐蚀行为研究

Corrosion Behavior of High Strength Steels 0Cr18Ni5 and AF1410

刘建华¹, 尚海波², 陶斌武¹, 李松梅¹

(1 北京航空航天大学材料科学与工程学院, 北京 100083;

2 沈阳飞机制造公司, 沈阳 110041)

LIU Jian-hua¹, SHANG Hai-bo², TAO Bin-wu¹, LI Song-mei¹

(1 School of Materials Science and Engineering,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2 Shenyang Airplane Manufacture Company, Shenyang 110041, China)

摘要: 采用失重法和 XRD 法研究了 0Cr18Ni5 钢和 AF1410 钢在中性盐雾环境中的耐蚀性能。结果发现 0Cr18Ni5 钢由于高含量的 Cr 元素而只发生了轻微的点蚀, 而 AF1410 钢则发生了严重的全面腐蚀, 腐蚀产物主要由 FeOOH 和 Fe_3O_4 组成。采用恒载荷应力腐蚀拉伸和剩余力学性能测试法, 并结合 SEM 断口形貌分析, 研究了两种高强钢在 3.5% NaCl (质量分数) 水溶液中应力腐蚀行为。结果表明, 0Cr18Ni5 钢和 AF1410 钢在该环境中都表现出应力腐蚀敏感性。最后, 结合实验结果提出了一种简易快速评价材料抗应力腐蚀性能的方法。

关键词: 高强钢; 力学性能; 应力腐蚀 (SCC); 恒载荷拉伸法

中图分类号: TG172.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2004) 08-0029-03

Abstract: Corrosion resistance of two high strength steels in neutral salt spray test (NSST) was studied by mass loss and X-ray diffraction (XRD). Pitting corrosion was found on the surface of 0Cr18Ni5 steel, and severe general corrosion on the surface of AF1410 steel. The susceptibility to stress corrosion cracking (SCC) of the two steels in 3.5% NaCl (mass fraction) solutions was studied by constant load tensile and loss of strength and ductility. Both of the steels exhibited susceptibility to SCC. A simple method for evaluating SCC resistance of materials was put forward.

Key words: high strength steel; mechanical property; stress corrosion cracking (SCC); constant load tensile

0Cr18Ni5 钢和 AF1410 钢是高合金超高强度钢, 主要靠低碳马氏体或碳化物的二次硬化达到高强度、高韧性。研究表明^[1-3], 0Cr18Ni5 和 AF1410 钢不仅具有高强度、高韧性等优异的力学性能, 同时具有优良的加工性能, 是极具应用潜力的高性能结构材料。

高强钢在应力和环境协同作用下发生的应力腐蚀断裂 (SCC) 一直是结构材料面临的严重问题之一。由于应力腐蚀断裂发生在加载应力远低于材料的屈服强度的情况下, 并且没有事先征兆, 所以往往是重大危险事故的隐患。因此, 发展经济有效的应力腐蚀断裂评价方法和剩余寿命评估技术具有重要意义。由于应力腐蚀断裂与材料、环境、应力状态等许多因素有关, 它的发生机理极具复杂性, 国内外很多学者提出了多种 SCC 机理模型, 并建立了许多不同的 SCC 敏感性评价方法^[4-6]。

然而, 现有的 SCC 性能测试的周期往往很长, 工作量很大, 成本很高。本工作利用恒载荷应力腐蚀拉伸和力学拉伸相结合的方法, 并对比考虑纯腐蚀因素

对材料的破坏, 探索了一种快速评定材料抗 SCC 性能的方法, 以满足工程应用的需要。

1 试验方法

1.1 材料

试验用两种高强钢的化学成分和基本力学性能如表 1 所示。0Cr18Ni5 钢的热处理制度为: 1000 ± 10 , 保温 45min, 然后冷处理至表面光亮后空冷水冷, 最后在 425 ± 5 保温 3h 空冷时效。AF1410 钢的热处理制度为: 860 , 保温 1h, 油冷, 然后 -70 冷处理 1h, 最后在 510 保温 5h 空冷时效。

1.2 中性盐雾腐蚀试验

对两种钢进行了中性盐雾腐蚀试验。喷雾介质为 3.5% NaCl (质量分数, 下同) 水溶液 ($\text{pH}=7$), 温度为 35 ± 1 , 试验周期为 1000h, 平行试样为 5 个。采用失重法和形貌观察法分别评价其抗腐蚀性。采用 X 射线衍射 (XRD) 法对腐蚀产物的组成进行了分析。

表 1 试验用高强钢的化学成分 (质量分数/%) 和基本力学性能

Table 1 Chemical composition (mass fraction/%) and mechanical properties of the steels

Steel type	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Ti	$\sigma_{0.2}$ / MPa	σ_b / MPa	δ_5 / %	ψ / %
0Cr18Ni5	0.05	0.58	0.42	17.78	5.39	0.09	0.10	1070	1265	10	55
AF1410	0.16	0.03	0.02	1.92	9.83	14.1	0.01	1620	1750	18	72

1.3 应力腐蚀试验

应力腐蚀拉伸试样工作段尺寸为 $\phi_{\text{mm}} \times 25\text{mm}$ 。采用中性 3.5% NaCl 水溶液 (pH= 7) 作为腐蚀介质, 温度为 35 ± 1 , 用恒载拉伸荷法进行应力腐蚀测试。两种钢的拉伸恒载荷都选用了 95% $\sigma_{0.2}$, 85% $\sigma_{0.2}$, 75% $\sigma_{0.2}$ 的应力水平。将 300h 内未发生断裂的试样转移到材料试验机上进行纯力学拉伸直至断裂, 测定其剩余的力学性能参数, 与材料初始的力学性能进行比较分析, 最后用扫描电镜 (SEM) 对断口进行微观形貌分析。

2 结果与讨论

2.1 盐雾腐蚀

中性盐雾腐蚀试验发现在 1000h 的试验周期内, 0Cr18Ni5 钢只发生了微弱的点蚀, 具有较好的耐蚀性能; 而 AF1410 钢在 10h 左右就发生了明显的点蚀, 在 100h 左右已发展成全面腐蚀, 然后腐蚀逐渐加重, 最后其钢表面在该环境中遭受了严重的全面腐蚀。

0Cr18Ni5 钢中含有很高的 Cr, Ni 等合金元素, 容易生成 Cr_2O_3 , NiO 等保护性氧化膜, 因此使其具有很好的耐蚀性能, 点蚀的发生是由于表面沉积的 Cl^- 对钝化膜的腐蚀穿透作用引起的。

经失重法测定, AF1410 钢在试验环境中 1000h 内的平均腐蚀速度达到了 $3.16\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ 。观察 AF1410 钢盐雾腐蚀产物发现: 腐蚀产物可分为内外两层, 外层为棕褐色, 内层为黑色。外层腐蚀产物疏松, 内层比较致密, 与基体结合牢固; 分别除下内、外锈层, 经 XRD 物相分析发现外层主要由 FeOOH 构成, 内层则主要是 Fe_3O_4 。试验环境中, 金属表面覆盖水膜, 供氧充足, 腐蚀初期阳极发生 Fe 溶解, 生成 Fe^{2+} , 阴极受氧去极化控制。 Fe^{2+} 以 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 的形式继续被氧化、脱水形成了 FeOOH 和 Fe_3O_4 。由于内层 Fe_3O_4 比较致密, 因此它将逐渐阻碍氧的扩散, 从而使腐蚀速度减缓。

2.2 应力腐蚀

2.2.1 力学性能损失

将两种高强钢试样在 3.5% NaCl 水溶液中进行不同应力水平的恒载荷应力腐蚀试验, 结果所有试样在 300h 内均未发生应力腐蚀断裂。本工作为了寻

求在短时间内快速评价材料的应力腐蚀敏感性, 因而将未断的试样进行纯力学拉伸破坏, 测定其力学性能的损失, 通过进行应力腐蚀拉伸试验前后钢的力学性能参数的变化来评价钢发生 SCC 的敏感性。结果如表 2 所示。表 2 中所有数据表示的是某项力学参数的损失值, 如 $\Delta\sigma_b = (\sigma_{\text{bair}} - \sigma_{\text{bSCC}}) / \sigma_{\text{bair}}$, 其中 σ_{bair} , σ_{bSCC} 分别为应力腐蚀拉伸前后测得的断裂强度。

表 2 两种高强钢恒载荷应力腐蚀拉伸试样的力学性能损失

Table 2 Loss of mechanical properties of the steels after SCC testing with constant stress loading in the 3.5% of NaCl solutions

Steel	0Cr18Ni5			AF1410		
	95% $\sigma_{0.2}$	85% $\sigma_{0.2}$	75% $\sigma_{0.2}$	95% $\sigma_{0.2}$	85% $\sigma_{0.2}$	75% $\sigma_{0.2}$
Stress loading						
$\Delta\sigma_b$ / %	14.3	15.1	16.5	7.4	7.7	8.3
$\Delta\sigma_{0.2}$ / %	29.0	27.6	26.8	21.3	20.4	18.0
$\Delta\delta$ / %	35.5	39.2	42.6	22.2	19.7	23.8

表 2 的结果显示, 经 300h 的应力腐蚀拉伸后, 两种钢的各项力学性能都有不同程度的损失, 表明介质溶液起到腐蚀破坏作用。强度的损失和延伸率下降都说明两种钢的内部受到应力作用下腐蚀介质的破坏作用。两种钢的强度都有降低, 特别是条件屈服强度的损失幅度更大, 说明两种钢在应力和腐蚀介质的协同作用下都存在失效的危险, 在 3.5% NaCl 水溶液中两种钢都存在 SCC 的敏感性。

从表 2 还可看到, 同种钢在不同应力水平下的力学性能损失值略有不同, 并且随着恒载荷应力拉伸的应力降低, 抗拉强度损失值增加而条件屈服强度却降低, 显示出应力腐蚀拉伸对剩余抗拉强度和屈服强度的不同影响, 原因尚不清楚。

2.2.2 断口形貌分析

从宏观图像上看, 应力腐蚀断口通常表现为脆性断裂。脆性断裂指的是材料因受应力作用而沿着晶界或某些严格的晶体学面发生分离的过程, 即发生解理或者准解理。

0Cr18Ni5 钢应力腐蚀试样经加速拉断后的断口形貌如图 1 所示。断口的不同区域表现出不同性质的形貌特征: 断口中心部分是典型的韧窝形貌, 其间是许多的微孔, 即为韧窝-微孔聚集型断裂, 这是典型的塑性断裂特征; 断口的边缘部分, 则出现了解理和穿

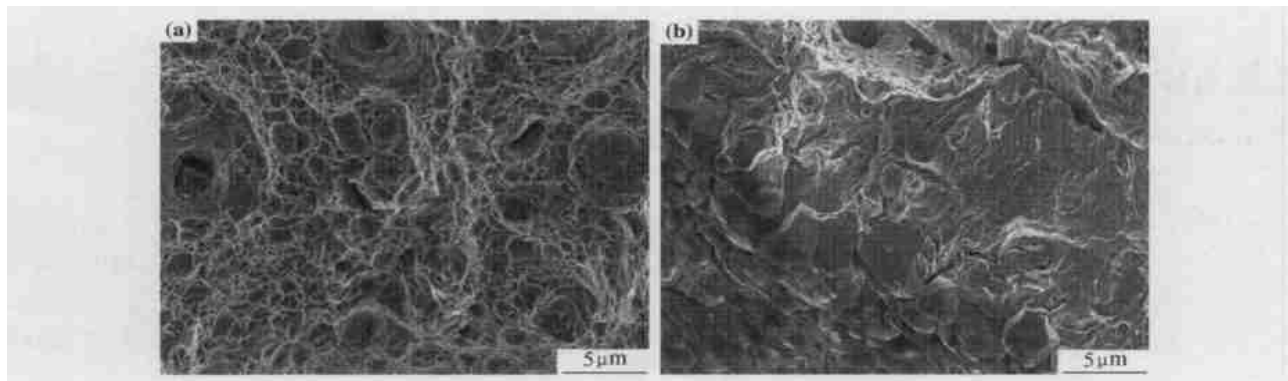


图1 0Cr18Ni5 钢应力腐蚀拉伸试样断口形貌 (a) 断口中心; (b) 断口边缘

Fig. 1 SEM images of fractured surface of 0Cr18Ni5 steel after SCC testing in 3.5% NaCl solutions

(a) central part of fractured surface; (b) edge part of fractured surface

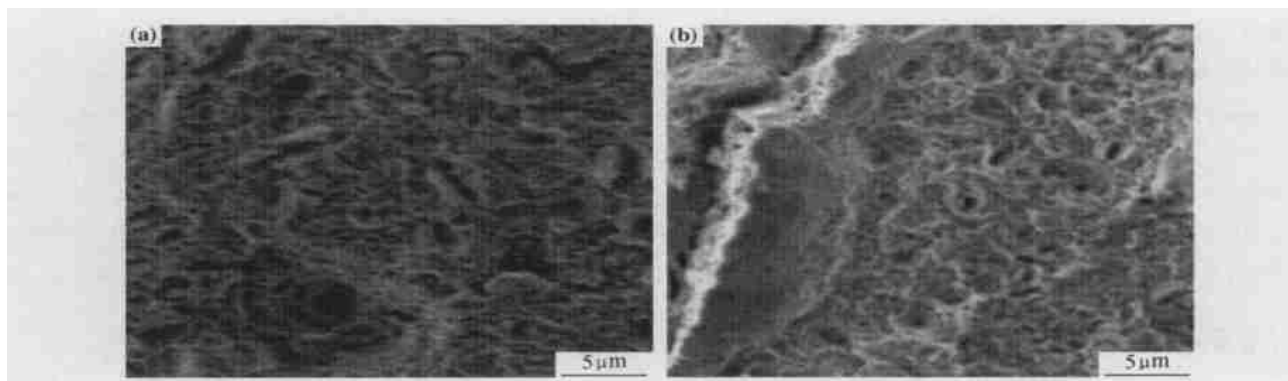


图2 AF1410 钢应力腐蚀拉伸试样断口形貌 (a) 断口中心; (b) 断口边缘

Fig. 2 SEM images of fractured surface of AF1410 steel after SCC testing in 3.5% NaCl solutions

(a) central part of fractured surface; (b) edge part of fractured surface

晶的断裂特征,这是典型的脆性断裂特征。由此可见,0Cr18Ni5 钢在所试验的环境中表现出应力腐蚀断裂特征。

图2是AF1410 钢的断口形貌,同样在断口的中心部分是典型的韧窝形貌,而断口边缘区域则表现出准解理断裂特征,同样显示了该钢的SCC 倾向。不过比较而言,AF1410 钢的边缘断口的组织间覆盖了较多的腐蚀产物,说明在3.5% NaCl 水溶液中AF1410 钢的耐蚀性较差,腐蚀全面的进入基体内部,这和中性盐雾腐蚀的结果是一致的。

3 结论

(1) 0Cr18Ni5 钢在中性盐雾环境中具有较好的耐蚀性能,发生了轻微的点蚀;而AF1410 钢在同样环境中却容易发生严重的全面腐蚀,其平均氧化速度达 $3.16\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ 。

(2) 0Cr18Ni5 钢和AF1410 钢在3.5% NaCl 水溶液中都有发生SCC 的倾向,两种材料在300h 的应力腐蚀拉伸测试后性能都有不同程度的下降。

(3) 通过对应力腐蚀拉伸前后材料力学性能变化以及应力腐蚀断口形貌特征的判断分析,提出了一种快速、简易评价材料抗应力腐蚀性能的方法。

参考文献

- [1] 朱日彰,卢亚轩. 耐热钢和高温合金 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1995.
- [2] 许昌淦,等. 15Cr2Ni10MoCo14 钢奥氏体晶粒长大和高温氧化动力学 [J]. 特殊钢, 1995, 16 (6): 19- 22.
- [3] 许昌淦,等. 超高强度钢 AF1410 时效历程的工程 [R]. 北京: 北航科研报告, BH-B3886, 1990.
- [4] 褚武扬,等. 应力腐蚀机理研究的新进展 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 1995, 7 (2): 97- 101.
- [5] 乔利杰,王燕斌,褚武扬. 应力腐蚀机理 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [6] 杨武. 核电工程材料的应力腐蚀破裂研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 1995, 7 (2): 87- 90.

收稿日期: 2003-06-23; 修订日期: 2003-11-10

作者简介: 刘建华 (1957-), 男, 教授, 博导, 现从事金属腐蚀与防护, 电化学、分析化学等方面的研究, 联系地址: 北京航空航天大学材料科学与工程学院 (100083)。