

预腐蚀对 AF1410 电子束焊接头疲劳性能的影响

Influence of Pre-Corrosion on Fatigue Property of AF1410 EBW Joint

北京航空制造工程研究所高能束流加工技术重点实验室 余伟 韩鹏 吴冰

[摘要] AF1410 钢是一种新型的超高强度钢,是船舶、航空飞机的重要承力构件首选材料之一。这些承力构件通常采用电子束焊接,针对这些构件服役条件的特殊性,本课题提出了盐水预腐蚀对疲劳性能影响的试验方法,验证了 AF1410 钢电子束焊接接头在特殊环境下的可靠性。测试了不同腐蚀时间、不同载荷下 AF1410 钢电子束焊接接头在盐水中的腐蚀疲劳性能,对获取的大量试验数据进行了深入分析。试验结果表明,预腐蚀对 AF1410 钢电子束焊接接头的疲劳寿命有一定影响,会降低焊接构件在交变载荷下的使用寿命。

关键词: AF1410 钢 电子束焊接 预腐蚀 疲劳性能

[ABSTRACT] AF1410 steel is a new type super intensity steel, which is suited to manufacture key parts of ship and aircraft. Usually, these parts are welded by electron beam welding (EBW). In order to verify the reliability of AF1410 steel EBW joint, brine pre-corrosion fatigue life detection method is introduced. After different brine corrosion time, the fatigue lifes of EBW joints of AF1410 steel are obtained under different cycle loading. Through studying these test data, it can be found that pre-corrosion will decrease the fatigue life of AF1410 steel EBW joints.

Keywords: AF1410 steel EBW Pre-corrosion Fatigue property

在船舶及部分航空飞行器中,某些零部件在腐蚀介质中需要承受交变载荷作用,其破坏往往是在疲劳和腐蚀联合作用下发生的。在腐蚀介质和交变应力共同作用下裂纹的产生要比在惰性介质中容易得多,裂纹的扩展也迅速得多^[1]。因此对于这部分重要承力构件所用的材料,不仅要求具有良好的常规综合性能,而且还必须具备较好的抗腐蚀破坏性能。

船舶、航空航天事业的快速发展对适用于主要承力构件的超高强度钢提出了更高的要求。即不仅要求有高的强度,而且还要有高的断裂韧性、较好的抗腐蚀性能等。国内外对 AF1410 钢的成分、组织、处理方法、性能特征等方面进行了大量的研究,以促进其在船舶、航

空领域的广泛应用。

与其他材料相比,AF1410 钢属于马氏体超高强度钢中最为典型的一类钢,是美国 20 世纪 80 年代研制成功的低碳高合金高韧性的二次硬化型超高强度钢。从奥氏体化温度淬火后,形成高位错密度的板条马氏体,有少量孪晶及残余奥氏体。在 480℃~540℃时效后,析出细小的合金碳化物,使钢具有了高的强度和韧性,其优异的断裂韧性来源于其化学成分的低碳、高镍钴、低杂质的特征。由于 AF1410 钢具有良好的综合性能,使其成为制造飞机重要承力构件的理想材料之一。

文献[2]对 AF1410 钢进行了氩弧焊试验,结果表明,AF1410 钢焊接适用性好。相对于氩弧焊而言,电子束焊具有很多独特的优点^[3],但目前国内有关 AF1410 钢的电子束焊接技术的研究还较少,尤其缺乏有关 AF1410 钢电子束焊接接头腐蚀疲劳性能的研究报道。针对 AF1410 钢电子束焊接构件工作环境的特殊性,提出采用盐水预腐蚀的方法,对 AF1410 钢电子束焊接接头进行处理,研究不同腐蚀时间、不同载荷下,AF1410 钢电子束焊接接头的疲劳寿命,为 AF1410 钢电子束焊接结构件在船舶、航空工业领域的应用提供参考。

1 试验材料及方案

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

表1 试验用AF1410钢的化学成分 w%

元素	C	Mn	Si	Cr	Fe	Ni	Co	Mo
含量	0.15	0.03	0.02	2	72.8	10	14	1

高性能结构材料。其化学成分如表 1 所示。

焊接试样的规格为 200mm×200mm×14mm,焊接试验设备为 ZD150-15A 高压电子束焊机,焊前采用钢丝刷打磨的方式清理试板表面,然后用丙酮擦洗待焊部位;采用专用焊接夹具对试板及导引块进行装夹定位;采用如表 2 所示的真空电子束焊接参数焊接 AF1410

表2 真空电子束焊接工艺参数

板厚 δ/mm	加速电压 U_a/kV	焊接电流 I_0/mA	聚焦电流 I_f/mA	焊接速度 $v/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
14.0	150	32.0	352	800

钢。

焊后对试块进行 X 射线探伤,结果表明,焊接接头质量满足 GJB 1718—2005A 标准 I 级焊缝要求。

对 X 射线探伤合格的 AF1410 钢电子束焊接试块进行焊后热处理,焊后热处理工艺为:正火 900℃,保温 1h,空冷,然后 680℃高温回火,空冷时效。

根据 HB 5287—96《金属轴向疲劳试验方法》加工疲劳试样,疲劳试样的尺寸如图 1 所示。

试验用腐蚀盐水的配置:用 5 份质量的化学纯氯化钠和 95 份质量的水,经充分混合,制成氯化钠含量为 $(5 \pm 1)\%$ 的盐溶液。每次配置的盐溶液,温度在 35℃,pH 值为 6.5 ~ 7.2。

试验槽温度控制在 33℃,湿化器温度控制在 42℃;喷雾方式为连续喷雾;在腐蚀过程中对腐蚀样品进行形貌观察。

在交变轴向应力下,对预暴露在中性烟雾腐蚀环境中一定时间的试样进行疲劳试验,确定不同应力下的疲劳循环次数。疲劳载荷应力比取 0.1,载荷交变频率为 45Hz,采用统计分析方法进行数据处理,绘制 S-N 曲线。

2 试验结果分析

AF1410 钢电子束焊接接头在不同的预腐蚀时间下,疲劳试验数据如表 3 所示。

从表 3 中可以看出,随着腐蚀时间的延长,在相同载荷的试验条件下,焊接接头循环次数明显下降。在不同预腐蚀时间下,AF1410 钢电子束焊接接头腐蚀疲劳 S-N 曲线如图 2 所示。

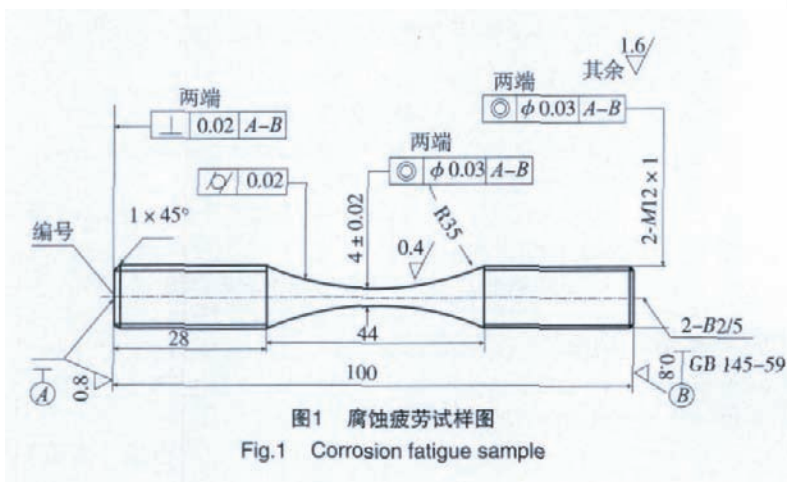


表3 不同腐蚀时间下焊接接头循环次数

载荷 /MPa	循环次数 N /次		
	腐蚀 10 天	腐蚀 15 天	腐蚀 20 天
676	185103	139346	93677
	179261	147918	87645
	184443	151985	89537
736	131295	104080	71009
	118657	92674	67197
	124723	98059	58614
796	90746	64420	53545
	82157	75673	42785
	83243	67573	41196
916	63399	39985	28801
	58693	40536	26401
	61355	38056	21539
1036	27970	21901	21488
	24358	23947	13824
	29665	24375	17836

图 3 为 AF1410 钢焊接接头在应力为 676 MPa,腐蚀时间分别为 10 天、15 天、20 天的焊接接头疲劳试样断口扫描电镜图片。

从断口形貌照片可以看出在相同应力不同腐蚀时间作用下的断口形貌差别比较明显。随着腐蚀时间的延长,裂纹扩展区的截面积越来越小,说明焊接接头抵抗裂纹扩展能力越来越弱。在 676MPa 较低应力水平下,试样断裂主要以韧性断裂为主,可以很清楚地找到起裂位置,这可能与预腐蚀造成的大量缺陷有关。结合表 3 中相同试验条件下获得的疲劳数据,大致可发

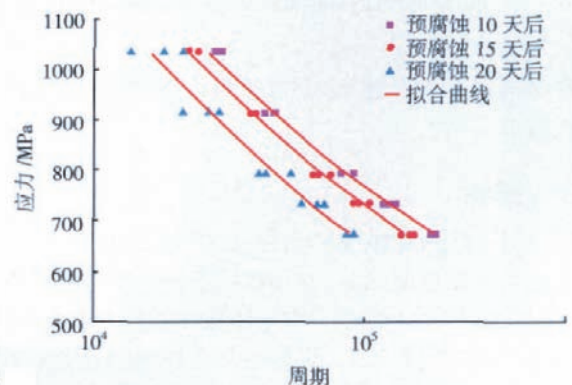
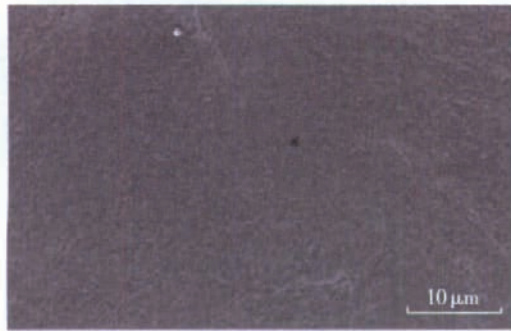


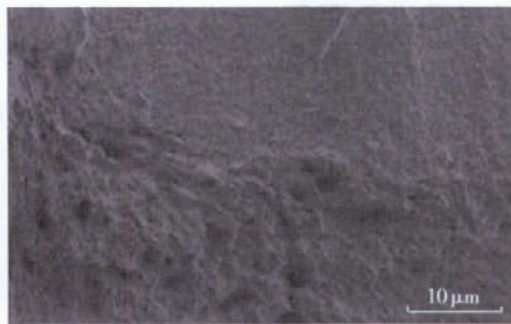
图2 不同预腐蚀时间下的接头疲劳性能 S-N 曲线
Fig.2 S-N curve of joint fatigue property at different pre-corrosion time



(a) 预腐蚀 10 天



(b) 预腐蚀 15 天



(c) 预腐蚀 20 天

图3 相同载荷、不同预腐蚀时间焊接接头疲劳试样断口扫描电镜图片

Fig.3 Fracture SEM of fatigue sample joint under the same load and different pre-corrosion time

现试样疲劳寿命越长,裂纹扩展段也越长,裂纹扩展条纹越细。

3 结论

(1) 对预腐蚀 10 天、15 天、20 天的电子束焊接接头进行疲劳性能试验,通过数据进行分析得到不同预腐蚀时间后的 S-N 曲线。对腐蚀数据进行整理分析得到,随着腐蚀时间的延长,焊接接头在相同应力水平下的预腐蚀疲劳循环周期都在逐渐下降,表明预腐蚀对材料的疲劳寿命有极大的影响,会显著降低其在交变载荷下的使用年限。

(2) 疲劳断口形貌表明:在较低应力水平时,试样断裂主要以韧性断裂为主,低倍下很容易能找到疲劳裂纹的扩展源,能够看出疲劳扩展源区多发生在预腐蚀造成的蚀坑处,大部分的预腐蚀疲劳裂纹扩展源是多个,起裂位置具有非常明显的特征。

参 考 文 献

[1] Arito S M, Okita K, Enjo T, et al. Friction welding of oxygen free copper to pure aluminum. Quarterly Journal of the Japan Welding Society, 1991, 9(4): 3-10.

[2] 刘建华,尚海波. 0Cr18Ni5 和 AF1410 高强度钢的腐蚀行为研究. 材料工程, 2004(8): 29-31.

[3] 刘春飞,张益坤. 电子束焊接技术发展历史,现状及展望. 航天制造技术, 2003(5): 51-53.

(责编 泰山)

(上接第 81 页)

型的(如试样个数),查询条件的可选项包括: = (等于)、<> (不等于)、> (大于)、>= (大于等于)、< (小于)、<= (小于等于)。这样的设置更方便查询,而且可以避免因用户输入不规范而导致查询失败。用户可以通过 OR(或操作)和 AND (与操作)2 种逻辑关系,将多种查询条件加以组合进行查询。选择“从上次的结果中查询”复选框,可以实现二次查询。

4 结 论

(1) 本系统为网络关系型数据库系统。采用客户机/服务器模式,利用 ODBC 中间件进行数据访问。对线性摩擦焊涉及的信息进行了分类和分析,建立了较为完善的后台数据库,实现了相关信息的输入、管理与维护。

(2) 实现了对线性摩擦焊相关信息的浏览和检索。提供灵活的查询方式,既能进行多种条件的组合查询又能对结果进行二次查询。

(3) 系统使用方便,人机交互界面友好,安全性强。

参 考 文 献

[1] 张田仓,韦依,周梦慰,等. 线性摩擦焊在整体叶盘制造中的应用. 航空制造技术, 2004(11): 56-58.

[2] 陈冰泉,赵义奎. 焊接数据库的研究与发展. 湖北工学院学报, 2002, 17(2): 172-174.

[3] 李巍,魏艳红. 焊接工程数据库系统综述. 焊接, 2006(11): 17-21.

[4] 陈丙森. 计算机辅助焊接技术. 北京:机械工业出版社, 1999.

[5] 刘兆甲,张文明,焦万才,等. 焊接工艺查询与管理系统设计. 电焊机, 2008, 38(1): 17-19.

(责编 岩石)