

TIG熔修对焊接接头海水腐蚀 疲劳性能的影响

薛以年 徐纪林 李 禾 李延萃

(中国科学院力学研究所)

提要 对经过TIG熔修的海上平台用钢(A537)的板状焊接接头进行了海水腐蚀疲劳试验。试验条件是:加载频率0.2Hz, 应力比 $R=-1$, 海水温度 $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$, 阴极保护电位 $-850\text{mV}\pm 30\text{mV}$, SCE。就平均寿命来说, TIG熔修试件的海水腐蚀疲劳寿命为原始焊缝(as-welded)试件寿命的四倍至六倍, 并且随应力范围的降低而差别增大。在自由腐蚀条件下, TIG熔修试件的寿命也比原始焊缝试件的寿命长得多。

(一) 前 言

为了改善焊接钢接头的抗疲劳性能, 通常采用机械打磨和喷丸等方法。七十年代在国外发展起来的弱等离子体弧熔修和TIG(钨极氩弧)熔修很受人们重视, 特别是TIG熔修价格低廉、使用方便, 在工地现场能取得良好的效果, 加上劳动条件好(比打磨噪音低)^[1], 更受欢迎。TIG熔修过的焊接钢接头在空气中的疲劳强度有明显提高(达到两倍以上)^[2], 这是被许多试验证实的。其主要原因有如下几方面:

(1)使焊缝及其热影响区表面的缺陷、微裂纹和杂质消除了, 这些都是焊接接头的疲劳源;

(2)改善了焊趾处的外形, 使焊肉和母材之间光滑过渡, 从而使应力集中系数大为降低;

(3)改善了焊缝的材质, 主要是提高了材料的韧性, 对抗疲劳性能有利。

导管架海上平台在波浪载荷和海水腐蚀的作用下, 一般都是在管节点交贯线的热点焊趾处产生腐蚀疲劳裂纹而导致破断。然而TIG熔修对于焊接接头在海水中的腐蚀疲劳强度是否有利, 尚没有一致结论。1978年日本新日铁的研究表明, TIG熔修可使SM41B十字钢接头在空气中和海水中的疲劳强度都提高到将近两倍^[2]。但是有些人则认为TIG熔修在海水腐蚀疲劳情况下不起多大作用^[3]。他们认为TIG熔修主要是消除焊缝区的表面缺陷, 即表

面裂纹和杂质这些疲劳源, 然而一旦浸入海水很快就形成许多腐蚀坑, 这些就相当于原来表面缺陷的疲劳源。实际上这个观点以及有关的试验结果是在自由腐蚀条件下得到的, 如果对焊缝区进行阴极保护, 腐蚀坑便不易产生, TIG熔修的有利因素就会起作用。国外研究人员虽然也有这样的看法, 但是在阴极保护下TIG熔修焊接接头的海水腐蚀疲劳试验结果尚未见到。必须指出, 如果TIG熔修使焊缝和母材之间过渡的几何形状得到改善, 从而降低了焊趾附近的应力集中系数, 那么在任何情况下提高其疲劳强度是必然的。

我们在开展焊接接头海水腐蚀疲劳试验中^[4], 对二十一个焊接接头试件进行了TIG熔修, TIG熔修处理是由郑州机械研究所焊接室进行的^[2]。目的是为证实焊接接头试件经过TIG熔修能改善海水腐蚀疲劳(有阴极保护)强度; 其中有五个试件是在自由腐蚀条件下进行疲劳试验的。

(二) 试件的材料和几何形状

试件采用海上平台用钢(A537), 25毫米厚的钢板焊接而成, 其化学成份和机械性能见表1和表2; 试件的几何形状有悬臂弯曲十字型、四点弯曲十字型和四点弯曲对接型三种(见图1)。试件是由某公司平台制造厂加工制作的。

(三) 试验方法和试验条件

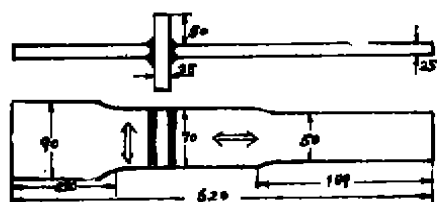
板状焊接接头试件的加载形式是悬臂弯曲和四点弯曲两种类型的循环载荷, 以模拟导管

表1 钢材化学成份 (%)

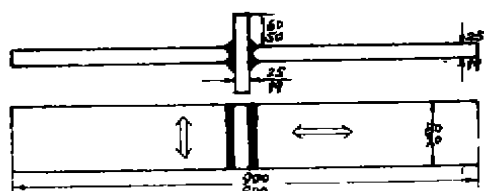
	C	S	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Nb	Al	含H(ml/100g)
(A537) 母材	0.17	0.003	0.49	1.35	0.011	0.17	0.022	0.15	0.035	0.050	0.024	0.024	
焊 缝	0.15	0.007	0.26	1.15	0.009	0.41						0.009	
L-55S 焊 材	0.07	0.009	0.45	0.98	0.012								1.6
L-55SN 焊 材	0.07	0.006	0.46	1.40	0.012	0.54							1.7

表2 钢材机械性能

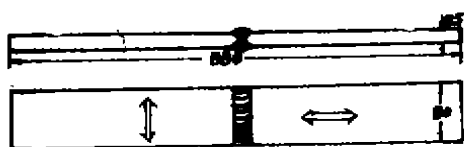
	σ_s (Nmm ⁻²)	σ_t (Nmm ⁻²)	δ (%)	ψ (%)	E (Nmm ⁻²)	μ
(A537) 母材	375	531	37	72	2.16×10^5	0.27
焊 缝	492	578	30	75		
L-55S 焊 材	461	559	29			
L-55SN 焊 材	539	598	30			



(a) 悬臂弯曲十字型试件



(b) 四点弯曲十字型试样



(c) 四点弯曲对接型试件

图1 试件几何形状示意图 (箭头所示为钢板压延方向)

架海上平台管节点热点处的弯曲应力状态。未经熔修的试件的疲劳裂纹通常在应力集中的焊趾处产生, 试验结果证实了这一点。本试验是在自行设计建造的多试件电液伺服低频海水腐蚀疲劳试验装置上进行的。在离试件焊趾16~25毫米处(应力集中区以外)的上下表面贴有应变计, 每对应变计联成半桥来测量弯曲状态的表面最大应变, 以获得表面最大应力范围。

本试验采用恒载荷控制的循环加载方式获得试验数据。

试验条件是: 循环加载频率为0.2Hz (接近波浪载荷的频率), 应力比 $R=-1$, 阴极保护电位为 $-850\text{mV} \pm 30\text{mV}$, SCE; 海水按ASTM, D1141-75配方^[4]配制而成, 以1l/min的流速循环流过包围试件焊缝的塑料海水槽, 使焊缝局部表面不断有海水流过, 海水温度为 $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ 。

(四) 试验结果和讨论

本工作共进行了二十一个熔修试件的海水腐蚀疲劳试验, 除其中五个试件是在自由腐蚀条件下进行试验以外, 都具有外加电流的恒电位阴极保护。试验结果以焊趾处弯曲应力状态的表面应力范围 ΔS 和疲劳破坏的载荷循环次数 N_f 的关系给出(见图2)。应力范围 ΔS 由焊趾附近的应变计测量的应变范围乘以钢材的弹性模量($E=2.16 \times 10^5 \text{Nmm}^{-2}$)得到, 平均寿命曲线是对试验数据在对数坐标系中进行线性回归分析得到的。图2中同时给出了原始焊缝状态(as-welded)、25毫米厚A537钢焊接接头的海水腐蚀疲劳(有阴极保护)的 $\Delta S-N_f$ 曲线^[4]以作比较。

从试验结果可以看到绝大部分的腐蚀疲劳断口位置在母材或焊肉上, 不象未经熔修的试件的断口位置通常在焊趾处^[4], 见示意图3。可见焊缝经过TIG熔修处理后, 焊缝区的焊趾处抗腐蚀疲劳性能得到明显改善, 焊趾处已不再是腐蚀疲劳破坏的薄弱环节。

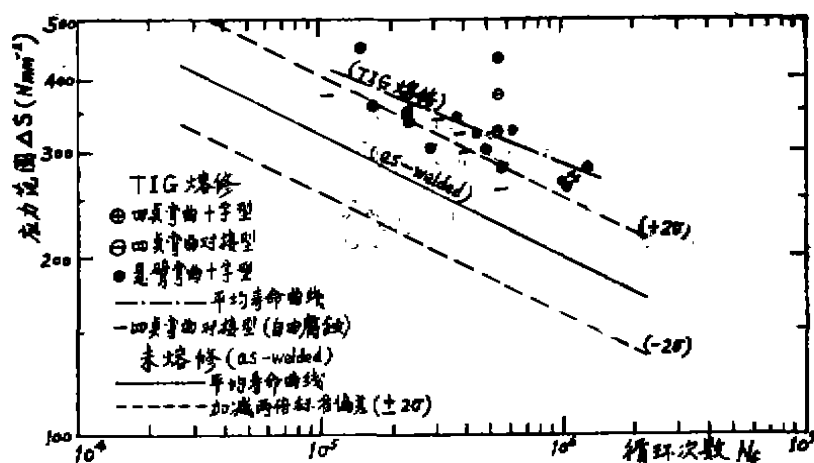


图2

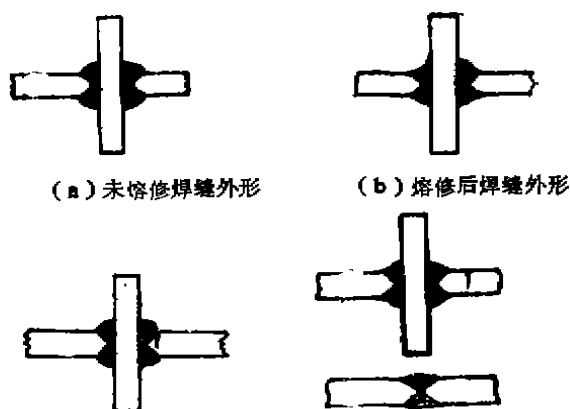


图3 焊缝外形和断裂位置示意图

从试验数据图2中看到, 经过TIG熔修处理的焊接接头海水腐蚀疲劳寿命比原始焊缝(as-welded)试件在相同条件下的寿命大大增加。对于有阴极保护的情况, TIG熔修试件的寿命几乎都落在原始焊缝试件的平均寿命加两倍标准偏差的区域以外, 即TIG熔修试件的寿命比未熔修试件的寿命明显增加。将有阴极保护的TIG熔修试件的寿命数据用线性回归统计得到的平均寿命曲线画在图2上, 与原始焊缝的平均寿命比较可以看到, 就平均寿命来说, 经过TIG熔修可使寿命增加四到六倍, 并且随应力范围的降低差别增大。在自由腐蚀条件下TIG熔修试件的寿命也比原始焊缝试件的寿命长得多, 但是它们五个试验点都落在有阴极保护的TIG熔修试件平均寿命曲线以下, 所以说明阴极保护使TIG熔修的效果更加显著。顺便

指出, 虽然对接接头海水腐蚀疲劳寿命比十字型接头要稍长一些, 但仍在寿命曲线的分散带以内, 因此这里将这两种类型试件的试验结果一起进行分析讨论。

上述试验结果清楚地表明, TIG熔修对增加焊接接头在海水中的腐蚀疲劳强度是十分有利的, 即使在自由腐蚀条件下也有明显效果。我们认为其原因基本上与前面所述的空气中TIG熔修对提高焊接接头疲劳强度的原因是相同的, 但

这里更主要的是TIG熔修使焊肉和母材之间光滑过渡, 降低了焊趾附近的应力集中系数, 显然应力水平的降低将使寿命明显增加。本文试件在熔修前后焊缝附近的几何形状见示意图3。

将TIG熔修应用于导管架海上平台管节点的交焊处, 看来也会延长其海水腐蚀疲劳寿命。显然, 增加管节点热点焊趾处的疲劳起裂寿命是肯定的, 而TIG熔修对管节点在海水中的腐蚀疲劳总寿命能增加多少, 还有待进一步的试验研究。

(五) 结论

1. 焊缝经过TIG熔修的板状焊接钢接头试件的海水腐蚀疲劳裂纹不再产生在焊趾处, 而是产生在母材或焊肉上;

2. 就平均寿命来说, TIG熔修试件的海水腐蚀疲劳(有阴极保护)寿命为原始焊缝(as-welded)试件寿命的四至六倍, 并且随应力范围的降低而差别增大; 在自由腐蚀条件下, TIG熔修试件的寿命也比原始焊缝试件的寿命长得多;

3. TIG熔修措施增加焊接接头的海水腐蚀疲劳寿命的原因, 除了消除表面缺陷、改善材质以外, 对本试验试件来说, 更主要的是使焊肉到母材之间光滑过渡, 焊趾附近的几何形状明显改善, 因此使应力集中系数大大降低。

参加本工作还有邓蓉英、张文华、土亚立、秦嘉亮、于桂清和唐驰。

(下转第34页)

(4) 对风向分布的处理作了简化。在实际应用中要根据具体情况合理处理。

(5) 本文对载荷特性作了一些假设。若某一结构的载荷特性与本文假设不符可另作讨论。譬如, 顺风向载荷幅值和横风向载荷幅值中有一服从正态分布, 另一服从威布尔分布。则二维联合概率密度函数的建立可参考文〔10〕。

(四) 结 语

本文提出了统计分析起重机杆件风致振动产生的随机疲劳载荷的初步方法, 还编制了主要部分的程序。实际应用时, 根据当地的具体风场条件进行风向分布的合理简化处理, 再根据实测结果或风洞试验结果, 运用本文讨论的方法可编制出拉杆结构或其它矩形高耸结构的风致振动疲劳载荷谱。

参 考 文 献

- 〔1〕 Emil Simiu & R.H.Scanlan: Wind Effects on Structures, 1978
- 〔2〕 顾明、范祖尧: 门座起重机整机气动弹性模型的风洞试验研究, 第三届全国结构风效应学术交流会议文集, 1988.5
- 〔3〕 卢耀祖: 门座起重机刚性拉杆在平稳风速下的风致振动, 上海交通大学研究生论文, 1982
- 〔4〕 王燕平: 集装箱装卸桥矩形截面斜杆的风振动响应, 上海交通大学研究生论文, 1986
- 〔5〕 J.F.Eden, A.J.Butter & J.Patlett: Wind Tunnel Tests on Model Crane Structures, Eng.Struct.Vol. 5, Oct.1983
- 〔6〕 A.G.Davenport: Wind Structure and Wind Climate (Part2), 1980
- 〔7〕 V.Kolousek, M.Priner, O.Fischer & J.NaPrstetok: Wind Effects on Civil Engineering Structures, 1984
- 〔8〕 E.B.Haugen: Probability Mechanical Design, 1980
- 〔9〕 周华章: 工业技术应用数理统计学, 人民教育出版社, 1964
- 〔10〕 顾明、陈健元: 非对称循环二维载荷谱编制的分析及计算程序, 机械强度, 第九卷, 1987.1

ANALYSIS FOR WORKING OUT OF THE FATIGUE LOAD SPECTRUM OF THE RECTANGULAR MEMBER OF PORTAL CRANE

Gu Ming (Tongji University)

Fan Zuyao (Shanghai Jiaotong University)

(上接第29页)

参 考 文 献

- 〔1〕 P.J.Haagensen, P.d'Erasmus and B.Petterson: Fatigue Performance in Air and Sea Water and Fracture Toughness of TIG-Dressed Steel Weldments, European Offshore Steels Research Seminar, Proceedings, Cambridge, U.K.27-29, Nov. 1978 pp.8.
- 〔2〕 机械部郑州机械研究所焊接室: TIG熔修(焊趾TIG整形)提高海洋平台管接点强度的研究, 1985年12月
- 〔3〕 J.L.Van Leeuwen, J.De Back, G.H.G.Vaessen: Constant Amplitude Fatigue Tests on Welded Steel Joints Performed in Air and Seawater, Steel Marine Structures, International Conference, Paris, France, 5-8, Oct.1981, pp.2.1
- 〔4〕 薛以年、徐纪林、李禾、李延章: 焊接钢接头海水腐蚀疲劳试验研究, 海洋工程, 第五卷, 2, 1987

THE INFLUENCE OF TIG-DRESSED ON SEAWATER CORROSION FATIGUE BEHAVIOUR OF WELDED JOINTS

Xue Yinian Xu Jilin Li He Li Yanping

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)