

●研究简报●

焊接接头 TIG 熔修的疲劳强度及低温性能研究`

STUDY OF FATIGUE STRENGTHS AND LOWER TEMPERATURE PROPERTIES OF TIG DRESSED WELDED JOINTS

李冬霞^{**1} 贾宝春² 邱太生² 周金锁²

(1. 中原工学院 基础部, 郑州 450007)(2. 郑州机械研究所, 郑州 450052)

LI DongXia

(Department of Basic Science, Zhongyuan Engineering Institute, Zhengzhou 450007, China)

JIA BaoChun QIU TaiSheng ZHOU JinSuo

(Zhengzhou Research Institute of Mechanical Engineering, Zhengzhou 450052, China)

摘要 以海洋石油钻井平台桩腿所用的普通低合金钢角焊缝为例, 研究 TIG (tungsten inert-gas arc) 熔修对焊接接头性能的影响。TIG 熔修可提高接头疲劳强度及低温性能, 其效果取决于熔修工艺及规范。文中对多种规范的 TIG 熔修试样和未熔修试样, 进行疲劳试验及落锤试验, 推出疲劳寿命公式, 并得到 $S-N$ 曲线, 确定了本试验条件下的最佳工艺规范参数, 应用该工艺参数可提高疲劳强度 189%, 降低脆性开裂温度 70℃。该熔修工艺已试用于海洋平台实际结构的桩腿裂纹补焊修复中, 使补焊焊缝的疲劳寿命大幅度提高, 效果明显。

关键词 TIG(tungsten inert-gas arc)熔修规范 角焊缝 疲劳强度 $S-N$ 曲线 脆性开裂温度

中图分类号 TE54 TG115.57 O346.23

Abstract The effect of TIG (tungsten inert-gas arc) dressing on fatigue strengths and low temperature properties of welded joints in support of the fillet weld of offshore platform was studied experimentally. The fatigue strengths and the lower temperature properties are found being improved greatly by using TIG dressing. However, the effect depends on TIG dressing technique and specification. In order that test results will be comparable, five sets specimens used by TIG dressing and one set specimens without dressing have been investigated on the fatigue test and drop hammer test. The estimating formula of fatigue life is derived and the $S-N$ curves are obtained. Therefore the optimum parameters of the specification and the technology are determined. The fatigue strengths used by TIG dressing have increased by 189%. The mechanical properties in low-temperature have been improved greatly by TIG dressing also. The brittle transition temperature of specimen used by TIG dressing has been lowered 70℃. The TIG-dressing technique has been tested in offshore drilling platform and the fatigue life by TIG dressing has been greatly improved. So the above technology is quite effective.

Key words TIG(tungsten inert-gas arc)-dressing; Fillet weld; Fatigue life; $S-N$ curve; Lower temperature property; Brittle transition temperature

Corresponding author: LI DongXia, E-mail: ldx@zzti.edu.cn, Fax: +86-371-7978062

Manuscript received 20040202, in revised form 20040614.

1 引言

在焊接工程结构中, 由于焊缝疲劳开裂造成结构破坏的事故不断增多, 国内外都在积极地研究如何提高焊缝抗疲劳开裂的能力, 并提出了各种改善结构受力状态、改善工艺措施等提高焊接接头疲劳寿命的方法^[1~3]。20 世纪 70 年代末国外提出了 TIG(tungsten inert-gas arc)熔修、等离子弧熔修及采用流动性能较好的焊条进行盖面焊等工艺, 对提高接头的疲劳强度都有一定效果。特别是 TIG 熔修, 由于其工艺简单、使用方便、效果显著、价格低廉而深受重视, 有的已用于设备

制造和修理。我国在 20 世纪 80 年代开始了该工艺的研究, 并在国内海洋石油钻井平台等重要设备上使用, 取得较好的效果^[4]。

本文以疲劳寿命较低的角焊缝为对象, 研究熔修工艺规范对接头疲劳强度及低温性能的影响。

2 实验材料、试样和研究方法

2.1 实验材料及试样形式

试验用材料的化学成份及其力学性能见表 1。试样型式为 T 型接头, 疲劳和硬度试样开 K 型坡口、全焊透, 落锤试样不开坡口, 角焊, 试样的形状和尺寸

* 20040202 收到初稿, 20040614 收到修改稿。

** 李冬霞, 女, 1956 年 12 月生, 陕西乾县人, 汉族。副教授, 主要从事力学教学及疲劳断裂的研究。

表 1 试验材料的化学成份和力学性能

Tab.1 The chemical ingredients and the mechanical properties of experimental materials

化学成份 Chemical ingredients/%									力学性能 Mechanical properties		
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu		σ_b N/mm ²	σ_s N/mm ²	δ %
0.16	1.16	0.47	0.003	0.014	0.026	0.17	0.14		490	343	22

见图 1、图 2 所示。

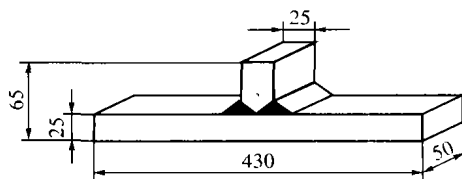


图 1 疲劳试样

Fig.1 Dimension of specimen for fatigue test

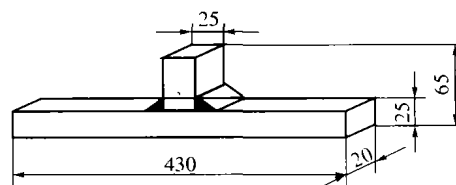


图 2 落锤试样

Fig.2 Specimen of drop hammer

2.2 试验方法

试验采用五种熔修规范,试样编号为 T1、T2、T3、T4、T5,各种熔修规范的线能量分别为 10 kJ/cm、13 kJ/cm、15 kJ/cm、18 kJ/cm、20 kJ/cm,用于对比的未熔修试样编号为 A1。疲劳试验在 10 吨高频疲劳试验机上进行,加载方式为对称循环四点弯曲,见图 3,循环基数为 5×10^6 ;落锤试验在 8 820 N·m 落锤试验机上进行,打击能为 1 176 N·m,试验装置简图见图 4。冷却介质和冷却剂为氟里昂、干冰和液态氮

表 2 各种工艺规范的疲劳实验数据

Tab.2 The fatigue test results used by TIG dressing and results without TIG dressing

熔修规范和熔修工艺	试样编号	应力范围 $\Delta\sigma$ /MPa	寿命 N/cycle	试样编号	应力范围 $\Delta\sigma$ /MPa	寿命 N/cycle	备注
A1	104	400	4.00×10^4	107	137	2.769×10^6	全部断于焊趾
	102	320	8.10×10^4	110	125	3.179×10^6	
	101	240	2.06×10^5	108	114	4.099×10^6	
	105	180	9.33×10^5	109	104	$> 5 \times 10^6$	
	106	150	2.86×10^6	111	109	$> 5 \times 10^6$	
T1	201	400	9.10×10^4	205	152	2.395×10^6	全部断于原焊趾处 TIG 焊缝中间
	203	300	2.64×10^5	211	144	$> 5 \times 10^6$	
	202	220	6.65×10^5	204	144	1.946×10^6	
	206	160	3.937×10^6	208	144	$> 5 \times 10^6$	
T2	302	460	1.57×10^5	310	220	1.765×10^6	全部断在 TIG 焊缝焊趾处
	304	400	3.99×10^5	313	180	1.833×10^6	
	305	340	2.27×10^5	312	156	$> 5 \times 10^6$	
	306	320	3.64×10^5	311	172	1.370×10^6	
	309	280	5.60×10^5	308	164	$> 5 \times 10^6$	
T3	406	460	1.68×10^5	411	250	2.39×10^6	断于 TIG 焊缝焊趾处其余断在靠近 TIG 焊缝母材缺陷处
	413	400	5.89×10^5	409	260	9.05×10^5	
	407	320	1.51×10^6	408	210	$> 5 \times 10^6$	
	404	260	2.863×10^6	412	200	$> 5 \times 10^6$	
	405	240	$> 5 \times 10^6$				
T4	511	460	5.40×10^4	504	250	1.205×10^6	全部断在 TIG 焊缝边缘咬边处
	501	400	1.11×10^5	505	240	1.122×10^6	
	513	340	1.81×10^5	503	230	8.660×10^5	
	507	280	1.522×10^6	512	210	9.620×10^5	
	510	240	$> 5 \times 10^6$	502	200	$> 5 \times 10^6$	
	509	260	1.265×10^6				
T5	604	400	2.23×10^5	611	210	1.62×10^6	全部断在一次和二次 TIG 焊缝交界处
	605	320	4.49×10^5	608	200	9.67×10^5	
	609	240	1.32×10^6	606	190	$> 5 \times 10^6$	
	613	200	$> 5 \times 10^6$	607	200	9.26×10^6	
	612	220	1.426×10^6				

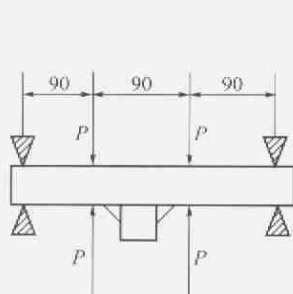


图3 四点弯曲疲劳试验

Fig.3 Pure bending fatigue test set

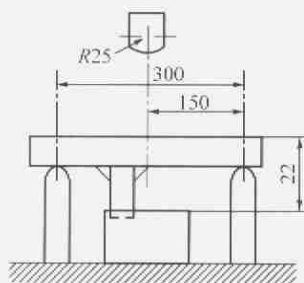


图4 落锤试验

Fig.4 Drop hammer test set

3 TIG 熔修对焊缝疲劳性能的影响及分析

疲劳试验结果如表2,对数据处理得到疲劳曲线方程见表3,疲劳曲线见图5。

从图中可见,经熔修后 T 型接头的疲劳强度都有较大幅度提高,其中采用 T3 规范熔修的试样疲劳强度最大,可提高 1.89 倍 ($N = 10^6$)。

表3 各种工艺规范的疲劳曲线方程

Tab.3 The fatigue curve equations used by TIG dressing and without TIG dressing

熔修规范和 熔修工艺	回归方程	标准偏差	相关系数
A1	$\lg N = 14.605 - 3.854 \lg \sigma$	0.107 7	-0.991 6
T1	$\lg N = 14.447 - 3.650 \lg \sigma$	0.166 8	-0.970 8
T2	$\lg N = 13.035 - 2.952 \lg \sigma$	0.198 5	-0.936 9
T3	$\lg N = 16.762 - 4.286 \lg \sigma$	0.220 9	-0.910 6
T4	$\lg N = 17.773 - 4.878 \lg \sigma$	0.298 0	-0.893 6
T5	$\lg N = 13.851 - 3.274 \lg \sigma$	0.261 9	-0.828 0

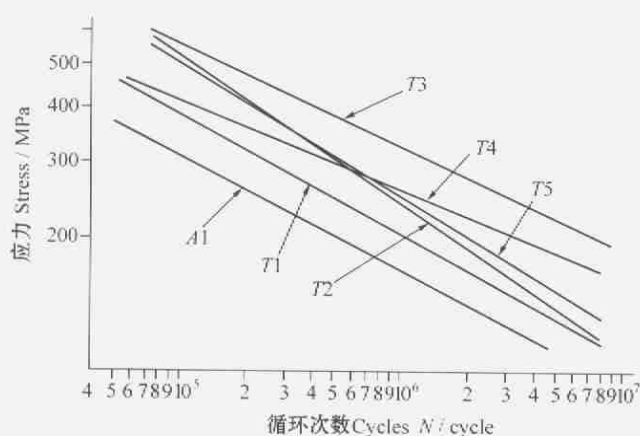


图5 T型接头经不同规范熔修后的 S—N 曲线

Fig.5 The S—N curves used by TIG dressing and without TIG dressing

4 落锤试验

T 型接头经不同规范熔修后的落锤试验结果见图6,可以看出,未经熔修试样脆性开裂发生在 -80°C ,而熔修后试样的脆性开裂发生在 $-150^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$,即

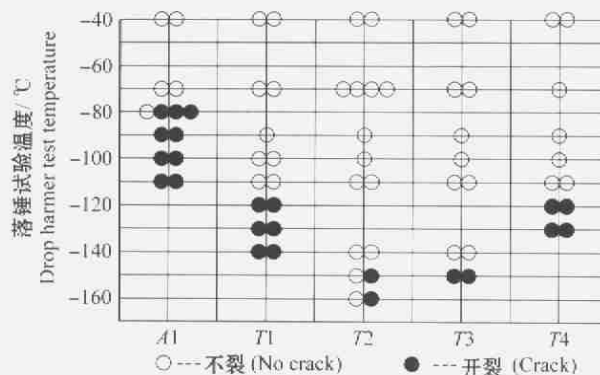


图6 T型接头经不同规范熔修后的落锤试验结果

Fig.6 Results of drop hammer test by TIG dressing and without TIG dressing

其脆性开裂温度 T_r , 类似 NDT (Nil-ductility temperature) 下降了 $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$, 这对在低温下工作的焊接结构件来说,具有十分重要的意义。

图7和图8分别为未经熔修试样(在 -80°C 时)和熔修试样(在 -150°C 时),在锤击开裂后距断口表层相同位置的电镜照片;其整个断口呈解理和准解理形貌,为脆性断口,经熔修后,虽然其整个断口仍是脆性断口,呈解理和准解理形貌,但在断口的开裂处却出现了沿晶韧窝(图8);而未熔修试样断口处没有出现沿晶韧窝。沿晶韧窝的出现说明焊趾金属的韧性得到改善,这是导致其脆性开裂温度下降的主要原因。

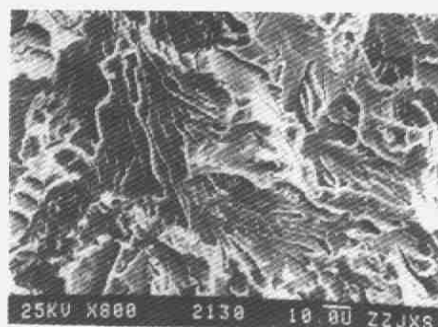


图7 未熔修落锤试样开裂处断口的显微照片

Fig.7 The micrograph in cracks of specimen of drop hammer without TIG-dressed

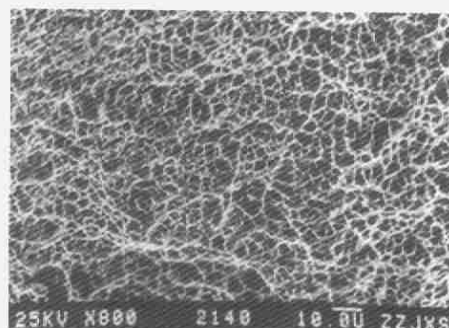


图8 熔修后落锤试样开裂处断口的显微照片

Fig.8 The micrograph in cracks of specimen of drop hammer used by TIG dressing

5 应用

该工艺及规范在钻井平台桩腿裂纹修复中使用,疲劳寿命大幅度提高。据船检局跟踪检测,经 TIG 熔修后的桩腿部位使用了 5 年多仍未出现开裂现象,而未经熔修的常规修复使用期不到 2 年就出现了裂纹^[5]。

6 结论

1)不同的熔修规范对接头疲劳强度的提高幅度不同,线能量为 15 kJ/cm 时提高幅度最大。

2)熔修可大幅度降低接头脆性开裂温度,最大可降低 70℃~80℃。

References

1 Hanzawa M, Yokote H. Improvement of fatigue strength in welded high tensile

strength steels by toe treatment. IIW Doc. X III-829., 1977. 5~7.

- 2 HUO LiXing. Engineering strength of welded structure. Beijing: Mechanical Industrial Press, 1995. 154~190(In Chinese)(霍立兴. 焊接结构工程强度. 北京:机械工业出版社, 1995. 154~190).
- 3 Minner H H, Seeger T. Investigations on the fatigue strength of welding high strength steel STE 460 and STE 690 in as-welded and TIG-dressed conditions. IIW/IIS-DOCUMENT XIII-912-1979. 3~11.
- 4 Tianjing University Welding Section of Teaching and Research. The principle and technique of the metal dressing, Beijing: Mechanical Industrial Press, 1979. 20~45(In Chinese)(天津大学焊接教研室. 金属熔焊原理及工艺. 北京:机械工业出版社, 1979. 20~45).
- 5 LI DongXia, JIA BaoChun, LIU YuanJie. Increase of the fatigue strength in a vertical weld joint of offshore drilling platform and actual application. Journal of Mechanical Strength. 2003, 25(3): 271~274 (In Chinese)(李冬霞, 贾宝春, 刘元杰. TIG 熔修提高平台立焊接头疲劳强度及实船应用. 机械强度, 2003, 25(3): 271~274).