

EH36-A514 异种钢焊接接头多次补焊熔修的疲劳性能

中国船级社 高照杰 段梦兰
中国科学院力学研究所 柳春图 刘海涛
中海石油北方钻井公司 刘宝元 姜渭渔

摘要 本文对海洋平台桩腿用高强度钢 EH36-A514 焊接接头经多次补焊熔修后的疲劳性能进行了大量的试验研究,给出了采用对数正态分布的寿命估算式及 R-S-N 概率寿命曲线。试验结果表明,多次补焊后进行多次 TIG 熔修在低周时显著提高了试件的疲劳寿命,而高周时则得到相反的结果,因此建议对易裂部位的裂纹采用 TIG 进行修复,而高周疲劳裂纹则采用其它方式。

关键词 EH36-A514 异种钢 焊接接头 多次补焊 TIG 熔修 应力 疲劳寿命

0 前言

桩腿是平台的主要支撑构件,其疲劳性能决定整个平台的安全。根据中国船级社移动平台入级与建造规范^[1],平台桩腿出现裂纹后的修理,在同一部位不得超过 2 次。这一规定使得经过 2 次修复再次出现裂纹后桩腿只能进行更换,将大幅度增加平台的维修费用,平台业主因而迫切希望采取措施能够对桩腿同一部位重复出现的裂纹进行 2 次以上的修理,也渴望开发出相应工艺延长修复后的疲劳寿命,提高平台桩腿维修的周期。

大量试验证明,TIG 熔修作为焊接构件焊缝处的焊后修整工艺,能极大地提高构件的疲劳强度^[2,3]。在对经过补焊后的进行 TIG 熔修的构件的疲劳试验中,也证明 TIG 熔修极大地提高了补焊试件焊缝处的疲劳寿命^[4]。但 TIG 熔修是一种热处理工艺,每次 TIG 熔修都会对构件产生一定的热影响,而每次疲劳裂纹的萌生与扩展过程对构件疲劳的贡献是一种损伤累积,因此同一部位的裂纹经多次补焊和 TIG 熔修后构件的疲劳强度是否会降低或可能会提高,尚不能简单地从初焊及一次补焊的结果中得到,且目前尚无这方面的报道。

1 试件的多次补焊及 TIG 熔修

试验所用的试样是在一次补焊及一次补焊熔修试样的基础上,经过疲劳试验预制疲劳

裂纹后, 进行两次补焊和两次补焊熔修及三次补焊和三次补焊熔修而制成的。

试样的形状及尺寸如图 1 所示, A514、EH36 及 LB-52 焊条的化学成分及力学性能如表 1、表 2 所示。

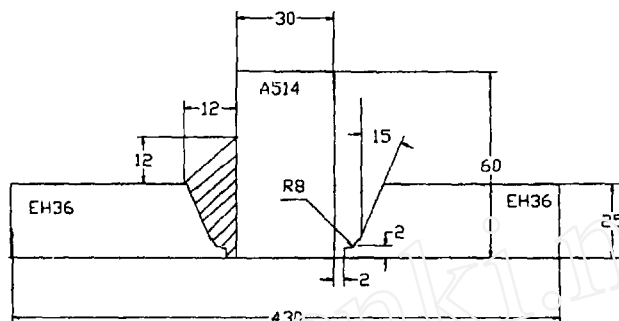


图 1 试样及其坡口形状与尺寸

对于经过一次补焊和一次补焊熔修的试样, 经过疲劳预制裂纹, 采用与初焊相同的补焊方法进行补焊。对于一次补焊熔修试样, 补焊后对焊趾处再次进行 TIG 熔修, 制成两次补焊及两次补焊熔修试样, 用于疲劳实验。三次补焊及补焊熔修试样采用相同的方法由两次补焊及两次补焊熔修试样制成。试样补焊的坡口形状亦如图 1 所示。

表 1 EH36 中强度钢、A514 高强度钢及 LB-52 焊条的化学成分 (重量%)

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	B
EH36 钢	≥0.10	≥0.60	≤0.035	≤0.04	≥0.15	≥0.40	≥0.40	≥0.0012
A514 钢	≤0.16	≥0.96	≤0.04	≤0.04	≥0.10	≤0.25	0.00	0.00
LB-52 焊条	0.08	0.96	0.011	0.007	0.58	0.00	0.00	0.00

表 2 EH36 中强度钢、A514 高强度钢及 LB-52 焊条的力学性能

	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	EL (%)
EH36	≥490	≥357	≥22
A514	≥770	≥700	≥13
LB-52	560	490	32

2 试验结果分析

本文用对数正态分布对试验数据进行统计处理, 结果列于表 3。为便于比较, 将对应的补焊非熔修试样的疲劳试验数据的统计结果一并列出。

由表 3 看到, 补焊熔修试样的对数标准差 σ 较补焊试样的值大, 说明在补焊熔修试样的疲劳实验中, 试验数据的分散性明显比非熔修试样的试验数据分散性大。这一现象

与一次补焊和一次补焊熔修试样的实验结果对比中的现象是一致的,说明 TIG 熔修工艺确实去掉了焊趾处的微缺陷,从而增加了疲劳裂纹形成这一段疲劳寿命,而裂纹的形成阶段的寿命本身就有很大的分散性。另一方面由于熔修改变的焊趾外形,减小了应力集中,进而也增大了数据的分散性。

表 3 补焊熔修实验结果的对数正态分布参数

	对数平均值 μ		对数标准差 σ	
	低周	高周	低周	高周
二次补焊熔修	5.545	6.154	0.125	0.179
二次补焊	5.332	6.536	0.085	0.128
三次补焊熔修	5.472	6.191	0.165	0.180
三次补焊	5.291	6.566	0.107	0.173

表 4 中列出了补焊熔修试样在存活率 $R=0.5$ 和存活率 $R=0.999$ 时的低周和高周的疲劳寿命。因为在高周疲劳实验中,补焊熔修试样的应力级较补焊试样的应力级约高出 20%,所以表中的寿命是经过调整的,是在相同应力级下的寿命比较。

表 4 可靠度 $R=0.5$ 及 $R=0.999$ 时的疲劳寿命

	$R=0.5$		$R=0.999$	
	低周 ($\times 10^5$)	高周 ($\times 10^6$)	低周 ($\times 10^5$)	高周 ($\times 10^6$)
二次补焊熔修	3.51	2.32	1.44	0.57
二次补焊	2.15	3.44	1.18	1.38
三次补焊熔修	2.97	2.75	0.92	0.74
三次补焊	1.96	3.68	0.91	1.08

显然,在存活率 $R=0.5$ 的条件下,低周疲劳寿命,二次补焊熔修比二次补焊提高约 63%,三次补焊熔修比三次补焊提高 52%;而高周疲劳寿命,二次补焊熔修比二次补焊反而下降约 33%,三次补焊熔修比三次补焊也下降约 25%。这些数据显示,二次补焊熔修、三次补焊熔修后,疲劳寿命在低周时提高幅度逐渐递减,分别只有 63%和 52%,较一次补焊熔修提高幅度 140%有较大差距。尤其值得注意在高周时竟分别下降了 33%和 25%。而且在二次补焊熔修和三次补焊熔修试样的疲劳实验中出现了母材断裂的情况。可能是由于补焊熔修试样在一次补焊时具有较长的疲劳寿命,经历了更多的应力循环,使其母材的累积损伤达到了疲劳极限。另外每次熔修使试样重新经历了一次热应力,对焊缝及热影响区内的材质性能都会产生一定的影响,例如硬度的变化等。可见多次重复补焊熔修对焊接试样疲劳性能的影响很值得进一步研究。

在高存活率 ($R=0.999$) 的寿命比较中,对低周疲劳寿命,二次补焊熔修比二次补焊提高约 22%,三次补焊熔修与三次补焊的疲劳寿命相当,并没有提高疲劳寿命;而对高周疲劳寿命,二次补焊熔修比二次补焊反而下降约 59%,三次补焊熔修比三次补焊下降了 31%。可见高存活率的统计结果进一步支持了中值寿命的分析,在一次补焊后进

行熔修对试样的疲劳寿命有较大的增加,但在二次和三次补焊后进行熔修其效果并不好。

就熔修试样本身而言,二次补焊熔修试样的疲劳寿命也有较大幅度的下降。在中值寿命时,低周和高周分别为 11%和 53%;在存活率 99.9%时,低周和高周分别为 20%和 23%。而三次补焊熔修试样的疲劳寿命在低周时较二次补焊熔修试样的疲劳寿命低,在高周时较二次补焊熔修试样高。在熔修试样的焊趾处由于熔池的存在,使得由于多次补焊造成的焊趾角的变化,并未在焊趾处体现为应力集中系数的减少。经过多次补焊和熔修后,试样的疲劳寿命下降较为明显。这不同于未经熔修试样在多次补焊后疲劳寿命没有较大变化的结果。

所以就总体而言,进行二次以上的补焊熔修,对低周疲劳,熔修较大幅度地提高了试样的疲劳性能,而对高周疲劳则并没有改善试样的性能。所以,对于海洋工程结构,那些易裂部位的裂纹适合进行 TIG 熔修,而高周疲劳裂纹采用 TiG 熔修须慎重考虑。

上述结果用 R-S-N 曲线表示于图 2 和图 3, 曲线的具体参数示于表 5。

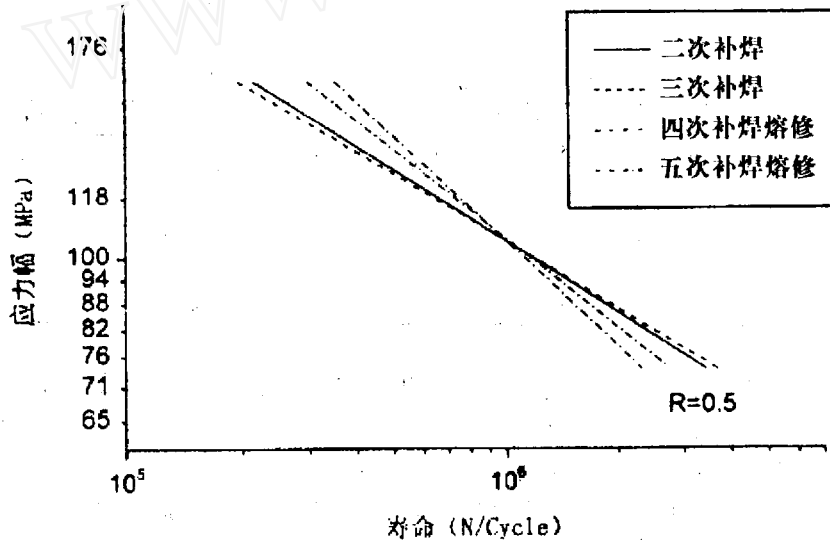


图 2 多次补焊熔修的 R-S-N 曲线 (R=0.5)

表 5 R-S-N 曲线参数

	K		C	
	R=0.5	R=0.999	R=0.5	R=0.999
二次补焊熔修	-2.4209	-1.7574	10.8893	9.0386
二次补焊	-3.5551	-3.1557	13.1779	12.0365
三次补焊熔修	-2.8548	-2.6664	11.7746	10.8492
三次补焊	-3.7619	-3.1644	13.5960	11.9461

3 结束语

对补焊熔修试样再次进行补焊熔修, 在实验中显示其对焊接试样疲劳性能在高周时没有改善, 但低周时明显地提高了试件的疲劳寿命。高周的这一结果部分原因是由于补焊熔修试样, 在一次补焊熔修的疲劳实验中承受了较多的应力循环, 从而造成母材的累积损伤达到了一定程度, 影响到二次、三次补焊熔修试样的疲劳性能。这一点可以在二次、三次补焊熔修试样的疲劳实验中出现了母材的断裂现象中得到印证。另一方面可能是由于多次熔修使焊缝处的材质性能发生了较大的变化, 产生了不利于疲劳性能的组织。总之, 对于海洋工程结构, 那些易裂部位的裂纹适合进行 TIG 熔修, 而高周疲劳裂纹采用 TIG 熔修须慎重考虑。

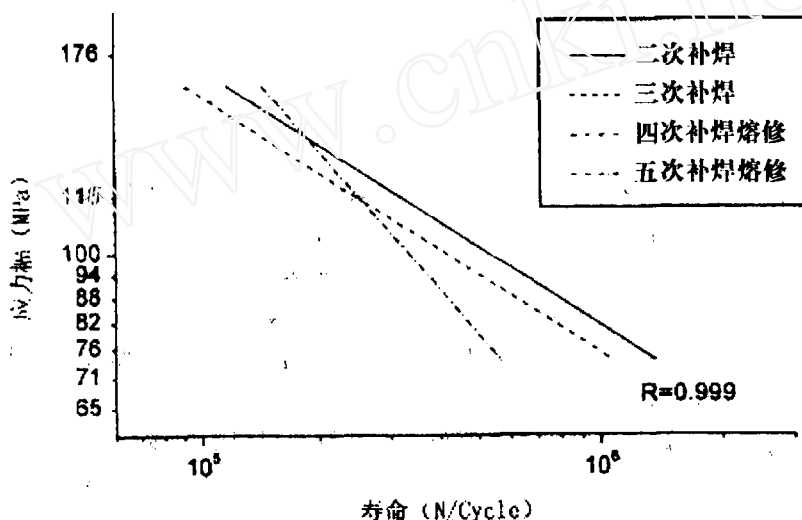


图3 多次补焊熔修的 R-S-N 曲线 (R=0.999)

参考文献

- 1 中国船级社, 海上移动平台入级与建造规范, 北京, 人民交通出版社, 1994
- 2 Haagensen, P. T., Effect of TIG dressing on fatigue performance and hardness of steel weldments, ASTM Symposium "Fatigue testing of Weldments", Toronto, May 1977
- 3 Haagensen, P. T., Fatigue strength TIG dressed welded steel joints, ECSC Conference "Steels in Marine Structures", Paris, October 1981
- 4 刘海涛, 高照杰, 柳春图, 阚常珍, 段梦兰, EH36-A514 异种钢补焊熔修的疲劳性能分析, 机械强度, 2001, 待发表