

# 钨极氩弧焊重熔堆焊层的空蚀性能

雷玉成, 冯良厚, 赵晓军

(江苏大学材料科学与工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 采用 TIG(钨极氩弧焊)表面重熔工艺对耐空泡腐蚀堆焊材料进行改性加工, 与磨削表面加工对比研究了 TIG 表面重熔对空泡腐蚀的影响。结果表明: 在 45 h 空泡腐蚀试验后, 磨削试样的累积失重量是 TIG 表面重熔试样的 1.57 倍; 相变产生的马氏体的剥落是堆焊材料质量损失的主要形式, 而 TIG 表面重熔工艺延迟了奥氏体到马氏体的相变, 降低了质量损失; 堆焊材料腐蚀的大量裂纹沿着马氏体片层发展, 而 TIG 重熔表面抑制了裂纹发展, 避免了大的物质剥落。

**关键词:** 空泡腐蚀; TIG 表面重熔; 失重量; 相变

**中图分类号:** TG172.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-748X(2007)02-0067-03

## EFFECT OF TIG SURFACE REMELTING PROCESS ON CAVITATION CORROSION RESISTANCE

LEI Yu-cheng, FENG Liang-hou, ZHAO Xiao-jun

(School of Material Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** Surface welding material was treated by tungsten inert gas (TIG) surface remelting process for its modification. Compared with grinding process, the effect of TIG surface remelting process on cavitation corrosion resistance was investigated. After 45h of cavitation corrosion test, the mass loss of the specimen with ground surface was 1.57 times that of the specimen with TIG remelted surface. The fracture of martensite transformed by austenite was the main form of mass loss. TIG surface remelting process put off the transformation-saturated point and decreased mass loss. TIG remelting process repressed crack growth and avoided the falling off of big particles.

**Key words:** Cavitation-corrosion; TIG surface remelting process; Mass loss; Phase transformation

## 0 引言

空泡腐蚀是一种发生在水轮叶片、螺旋桨等流体设备中的表面降解破坏现象<sup>[1,2]</sup>。普遍采用的防治工艺是在表面堆焊一层高性能的耐空泡腐蚀材料。但经过表面堆焊后,粗糙的枝状晶体、夹杂物、孔隙以及偏析等等都不利于耐空泡腐蚀<sup>[3]</sup>。传统的表面磨削加工并不能消除此类影响。而表面重熔加工在一定程度上可以减小这些有害影响。

表面重熔工艺是指工件的表面迅速加热到熔点以上,然后自然冷却。这种加工有利于表面均匀化、表面提纯和表面焊接<sup>[4,5]</sup>。热源可采用 TIG(钨极氩弧焊)、等离子和激光等。但表面重熔加工对堆焊层空泡腐蚀性能的影响尚未被深入研究。本试验选

用一种耐空泡腐蚀性能优良的钴基合金作为表面堆焊材料,其商品名为 Stellite 21,通过 TIG 表面重熔加工与传统的表面磨削加工的比较,深入研究了 TIG 表面重熔加工对耐空泡腐蚀性能的影响。

## 1 试验方法

### 1.1 试验材料

所用材料为 Stellite 21 钴基合金,4020 碳素钢,309 不锈钢。

### 1.2 试样制备

采用 4020 碳钢做为堆焊基体材料。采用 MIG(熔化极氩弧焊)表面焊接工艺,依次把 309 不锈钢和 Stellite 21 熔覆在 4020 碳钢基体上。其中 309 不锈钢起到降低稀释的作用<sup>[6]</sup>。堆焊材料的化学成分列于表 1。焊接熔覆完成后,分别进行 TIG(钨极氩弧焊)表面重熔加工和表面磨削加工。然后把经过不同表面加工的材料切割为不同的试样。TIG

收稿日期:2006-03-27

基金项目:江苏省工业攻关项目(BE2004089)

表面重熔加工工艺参数为:电压 14 V, 电流 120 A, 气体流量 13 L/s, 焊接速度 3.6 mm/s, 焊缝宽度 8 mm, 焊层厚度 3 mm。表面磨削加工采用 100# 砂纸磨削。

表 1 堆焊材料的化学成分及含量(质量分数, %)

材料	Cr	Ni	Co	Si	Mn	C	Mo	S	Fe
309	22.8	12.3	—	0.68	1.35	0.021	—	0.004	Bal.
Stellite 21	27	2.8	Bal.	0.75	0.79	0.22	5.3	0.01	5.4

### 1.3 试验方法

根据 ASTM G 32—1987 标准<sup>[7]</sup>, 空泡腐蚀试验设备为一台超声波振动设备。振动频率为 20 kHz, 振幅为 52  $\mu\text{m}$ , 试样距喷嘴距离 1 mm, 喷射介质采用蒸馏水。冷却水水温控制在 21  $^{\circ}\text{C}$ 。试样尺寸为 30 mm $\times$ 20 mm $\times$ 10 mm。在试验前后不同时间段, 试样经过清洗和干燥后, 用电子天平称重, 并计算出空泡腐蚀率。检测试样表面形貌和相变情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 失重分析

图 1 和图 2 分别给出了经过 TIG 重熔加工和磨削加工的两种试样在空泡腐蚀过程中随时间变化的失重量和失重率。可以看出, TIG 表面重熔加工的试样明显具有较低的失重率和失重量。在 45 h 空泡腐蚀试验后, 磨削试样的累积失重量是 TIG 表面重熔试样的 1.57 倍。

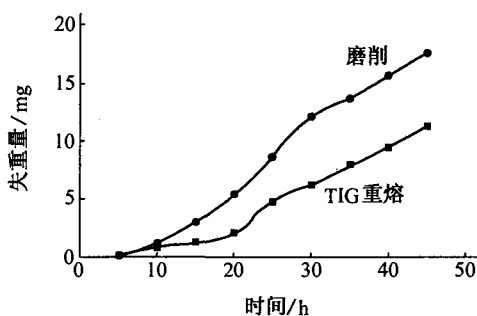


图 1 空泡腐蚀试验中失重量的变化

### 2.2 空泡腐蚀中的相变及 TIG 重熔的影响

经 X 射线衍射分析, 试样表面发生的是 fcc(面心立方)结构的  $\gamma$  奥氏体到 hcp(密排六方)结构的  $\epsilon$  马氏体的相变。相变沿着  $\{111\}$  奥氏体面形成<sup>[8]</sup>。从图 3 中也可以看出, 马氏体片层交叉呈现三角形结构, 角度约为  $70^{\circ}$ 。这与  $\{111\}$  奥氏体面的交叉角度相符。根据硬球模型, fcc 结构到 hcp 结构的相变只有外部堆垛断裂能的一半<sup>[9]</sup>, 因此相变能够在空

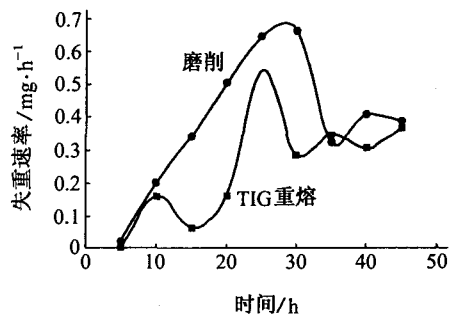


图 2 空泡腐蚀试验中失重速率的变化

泡冲击下轻易地发生。

由此可知, 相变是试样吸收空泡冲击能的主要途径。图 3 可以看出试样质量损失的主要形式是相变产生的片状  $\epsilon$  马氏体在空泡冲击下逐渐产生扭曲和断裂, 并且被剥落。而 TIG 重熔表面使晶粒细化, 保持了不定向枝状晶体区域和细化的胞状晶体区域, 提高了相变抵抗力, 使相变饱和点推迟, 从而延缓并降低了质量损失。



(a) TIG 重熔表面



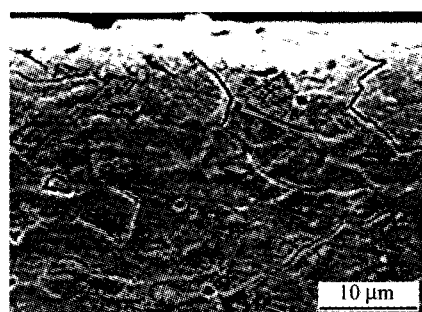
(b) 磨削表面

图 3 7.5 h 试验后两种试样的 SEM 图像

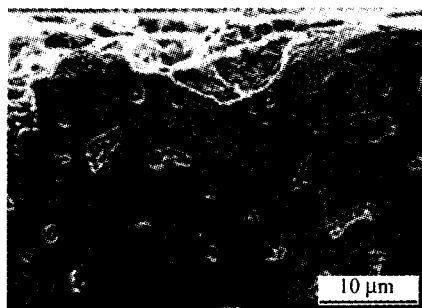
### 2.3 相变饱和后 TIG 重熔对空泡腐蚀的影响

如图 4 所示, 空泡腐蚀 45 h 后, TIG 重熔试样横截面产生了很多的裂纹, 但并没有明显的腐蚀形貌, 而磨削试样已经产生了很大的腐蚀凹坑, 已经有大量的物质被剥落。

图 4 表明大多数裂纹的传播是沿着马氏体层的方向。而这些裂纹的发展会导致比马氏体碎片更大的物质剥落。TIG 重熔表面具有细化的组织, 这导致了更多的形核位置, 抑制了裂纹传播, 因此 TIG



(a) TIG 重熔表面



(b) 磨削表面

图4 相变饱和后两种试样横截面的 SEM 图像

重熔避免了大的物质剥落。从而相对于磨削表面加工试样,TIG 表面重熔在相变饱和后继续保持了低失重率。

### 3 结论

(1) TIG 表面重熔加工的试样具有较低的失重率和失重量。在 45 h 空泡腐蚀试验后,磨削试样的累积失重量是 TIG 表面重熔试样的 1.57 倍。

(2) 相变是吸收空泡冲击能的主要途径。TIG 重熔表面提高了相变抵抗力,使相变饱和点推迟,从

而延长了吸能的时间。

(3) TIG 重熔表面可以抑制片层状马氏体裂纹的传播,避免了大的物质剥落。

#### 参考文献:

- [1] S C Li. Cavitation of hydraulic machinery[M]. London: Imperial College Press,2000;277-295.
- [2] Szkodo M. Relationship between microstructure of laser alloyed C45 steel and its cavitation resistance[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 162:410-415.
- [3] Jonathan S. Ogborn. Submerged arc welding [J]. ASM International,1993(13);202-209.
- [4] Cheng F T, Lo K H, Man H C. Surface coating technology[J]. Wear,2003,172:308-315.
- [5] Boleslaw G, Giren, Marek Szkodo, Janusz Steller, Cavitation erosion of some laser-produced iron-based corrosion-resistant alloys[J]. Wear, 2005, 258: 614-622.
- [6] Murugan N, Parmar R S. Stainless steel cladding deposited by automatic gas metal arc welding[J]. Welding Research Supplement,1997(10);391-403.
- [7] Annual Book of ASTM Standards[S]. 2002(3);187-194.
- [8] Xiaojun Z, Procopiak L A J. Phase transformation during cavitation erosion of a Co stainless steel[J]. Material Science and Engineering A, 2003, 358: 199-204.
- [9] John Price Hirth, Jens Lothe. Theory of dislocation [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc,1982;306-353.

(上接第 66 页)

### 3 结论

(1) 在弱酸性介质(pH=6)中, Sn 元素的添加使铜钝化膜更加致密和稳定,从而提高铜的耐蚀性;

(2) 在弱碱性介质(pH=8)中,铜合金虽然有良好的耐蚀性,但 Sn、Zn 的添加对改善铜稳定膜层的作用不明显;

(3) 虽然在试验中 Zn 元素的添加可促进铜合金膜层的成长,但对提高铜的耐蚀性并无明显作用。

#### 参考文献:

- [1] 扈显琦,彭乔,张明嘉. 海水中铜的缓蚀剂研究[J]. 四川化工与腐蚀控制,1999,2(3):4-8.

- [2] Galbraith J M, Lofgren K L. Update on monitoring microbial corrosion in prudhoe bay's produced water and seawater floods[J]. Materials Performance,1987, 26(9):47.
- [3] 李文军,刘大杨,魏开金. 在南海海域铜合金 8 年腐蚀行为研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,1995,7(3):241.
- [4] 罗正贵,闻获江. 铜的腐蚀及防护研究进展[J]. 武汉化工学院学报,2005,27(2):17-21.
- [5] Beccaria A M, Poggi G. The effect on the behavior of a-brasses in sea water of the addition of Al and Sn[J]. Corrosion Prevention & Control,1989(10):169.
- [6] 罗兵辉,赵楠,柏振海. 含微量元素铜合金的腐蚀行为研究[J]. 矿冶工程,2002(2):107-109.