

TIG 表面重熔对堆焊层耐空泡腐蚀的影响

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:用氩弧熔化焊(MIG)在 4020 碳钢表面堆焊耐空泡腐蚀材料,然后采用 TIG(钨极氩弧焊),将堆焊层改性;通过与传统磨削表面加工对比,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;奥氏体到马氏体的相变是 Stellite 21 材料吸收空泡冲击能的主要途径,而 TIG 表面重熔加工可以延迟相变,延长吸收空泡冲击的时间,减缓空蚀;TIG 重熔表面抑制了片层状马氏体的裂纹发展,避免了大的物质剥落.

关键词:空泡腐蚀; TIG 表面重熔; 马氏体; 奥氏体

中图分类号:TG172.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6495(2007)01-0012-04

EFFECT OF TIG SURFACE REMELTING PROCESS ON CAVITATION EROSION RESISTANCE FOR A PRE-WELD BUILDUP LAYER

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

School of Material Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013

Abstract: A surface layer of cavitation resistant material preprepared by buildup welding on a carbon steel 4020 by MIG process, and which was then remelted by TIG process. Compared with the conventional post grinding process for the weld layer, the effect of TIG surface remelting process on cavitation erosion resistance was investigated. The results show that after 45h of cavitation erosion test, the mass loss of the specimen with ground surface was 1.57 times of that with TIG remelted surface. The fracture of martensite, which was transformed from austenite of the weld stellite 21 layer was the main form of mass loss during cavitation erosion process. TIG surface remelting treatment might delay the transformation process to certain degree and thus decreased mass loss. TIG remelting process might also suppress the extension process of crack so that to eliminate spalling off of fragments.

Key Words: cavitation-erosion; TIG surface remelting process; martensite; austenite

空泡腐蚀是一种发生在水轮机叶片、海水泵等流体设备中的表面降解破坏现象^[1,2].一种传统的方法是在表面堆焊一层高性能的耐空泡腐蚀材料.但经过表面堆接后,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^[3].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加热到熔点以上,然后冷却.这种加工有利于表面均匀化、表面提纯和表面焊接^[4,5].可以采用的热源包括 TIG(钨极氩弧焊)、等离子弧和激光等.国内对激光熔敷、等离子弧两种高能热源的研究较为深

入^[6,7],但对加工成本相对较低的 TIG 表面重熔研究尚不深入.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,其商品名称为 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 实验方法

实验所用的表面堆焊材料是一种商品名称为 Stellite 21 钴基合金.基体材料为 4020 碳钢.选用 309 不锈钢作为中间层,以此来降低焊接熔覆产生的稀释性^[8].采用 MIG(熔化极氩弧焊)表面焊接工艺,依次把 309 不锈钢和 Stellite21 熔覆在 4020 碳钢基体上.所用材料的化学成分列于表 1.4020 碳钢成分(mass%)为:C < 0.3, 0.2 ~ 0.8 Si, 1.35 ~ 1.75 Mn, 0.25 ~ 0.55 Mo, P < 0.04, S < 0.045. MIG 堆焊工艺参数列于表 2.焊接熔敷完成后,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

收稿日期:2005-02-18 初稿;2005-12-09 修改稿

基金项目:江苏省工业攻关项目(BE2004089)

作者简介:雷玉成(1962-),男,教授,从事先进连接技术及耐空泡腐蚀材料研究.

Tel:13951282282 E-mail:yclai@ujs.edu.cn

Table 1 Chemical composition of material for surface welding (mass%)

materials	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

Table 2 Processing parameter of MIG build-up welding

	voltage V	current A	gas L/s	velocity mm/s	width mm	overlay mm	thickness mm
309	25.4	200	18	5	12	6	3
Stellite 21	25.4	190	18	4.5	12	6	5.3

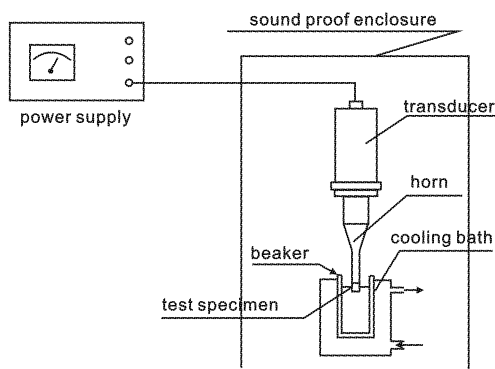


Fig. 1 Schematic diagram of cavitation vibratory test

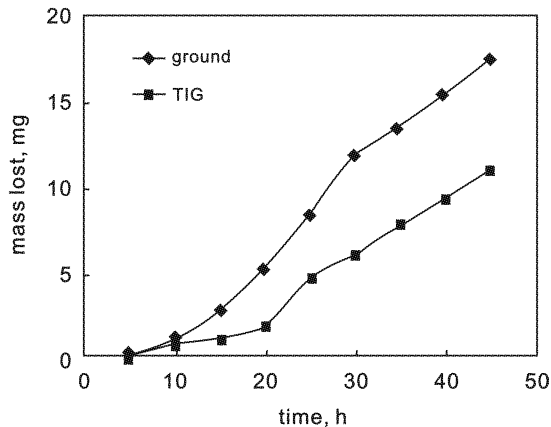


Fig. 2 Mass lost rate via cavitation erosion time

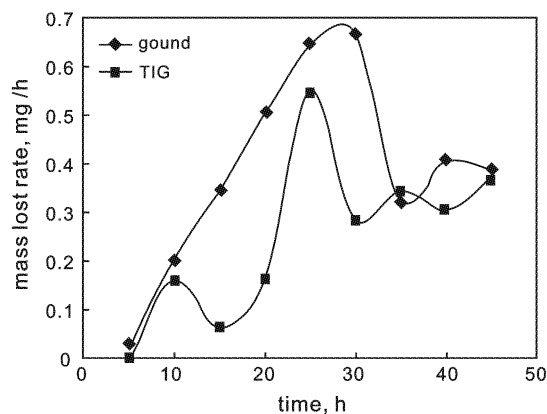


Fig. 3 Mass lost volume via cavitation erosion time

料切割为不同的试样. TIG 表面重熔加工参数为电压 14 V, 电流 120 A, 气体流量 13 L/s, 堆焊速度 3.6 mm/s. 磨削加工采用 100# 砂纸在表面堆焊层上磨削.

根据 ASTM G32-87 标准^[9], 空泡腐蚀实验设备为一台超声波振动设备, 如图 1 所示. 振动频率为 20 kHz, 振幅为 52 μm, 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℃. 试样尺寸为 30 mm × 20 mm × 10 mm. 2 种试样工作表面均用砂纸打磨到 600#, 并经过浸有氧化铝悬浮液的抛光机抛光. 在空泡腐蚀前后, 用 X 射线衍射仪 (XRD) 进行相分析, 用扫描电镜 (SEM) 跟踪观察各个阶段试样表面的腐蚀形貌. 在试验前后不同时间段, 试样经过清洗和干燥, 用误差为 0.1 mg 的电子天平称重, 并计算出空泡腐蚀率.

2 结果与讨论

2.1 失重

图 2 和图 3 分别给出了经过 TIG 表面重熔加工和磨削加工的 2 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 4a、b 给出了试验前磨削表面试样和 TIG 重熔表面试样的表面形貌. 可以看出, TIG 重熔表面比磨削表面的晶界更短小, 表面更均匀, 可以减小裂纹的发生和扩展. 图 4c、d 给出了 7.5 h 空泡腐蚀试验后 2 种试样的表面形貌. 磨削表面产生的裂纹已经扩展并开始剥落, 而 TIG 重熔表面仅产生了裂纹倾向.

2.2 空泡腐蚀中的相变及 TIG 重熔对其的影响

图 5 给出了 TIG 表面重熔试样和磨削试样在试验前和试验 45 h 后的 X 射线衍射图谱. 2 种试样表面均发生了 γ 奥氏体到 ε 马氏体的相变. 试样表面发生的是 fcc (面心立方) 结构的 γ 奥氏体到 hcp (密排六方) 结构的 ε 马氏体的相变. 相变沿着 {111} 奥氏体面形成^[10]. 而且从图 4c、d 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°. 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^[11], 因此相变能够在空泡冲击下轻易地发生.

由上述可知, 相变是吸收空泡冲击能的主要途径. 经检

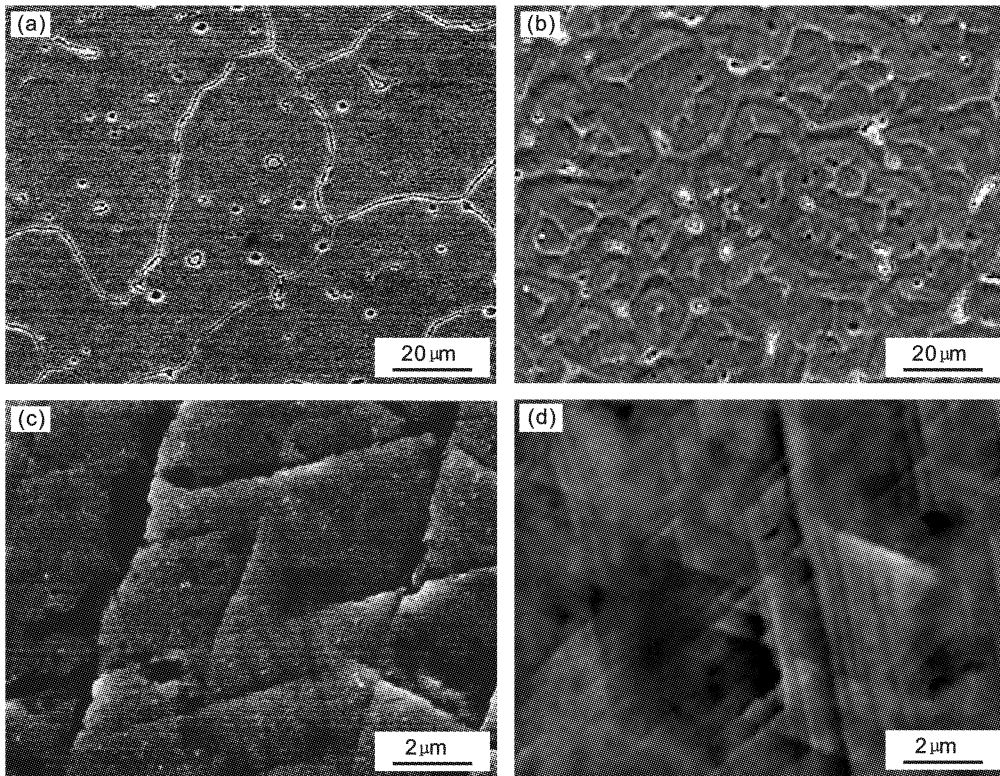


Fig. 4 SEM images of ground surface and remelted surface before and after cavitation test (a) as ground, (b) as TIG remelted, (c) ground after 7.5 h, (d) TIG remelted after 7.5 h

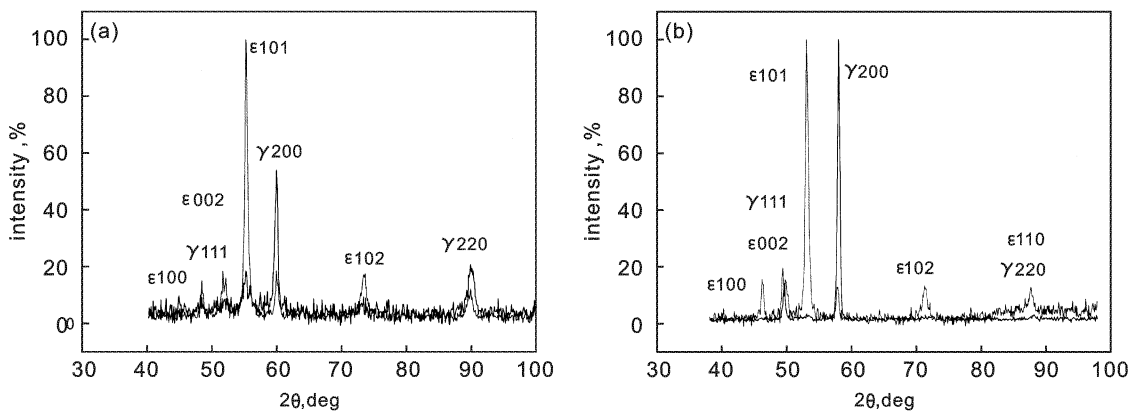


Fig. 5 XRD patterns of TIG remelted surface and ground surface before and after cavitation test (a) TIG remelted, (b) ground

Table 3 Phase analysis before and after cavitation (vol %)

phase present	γ - austenite, %		ε - martensite, %	
	before	after	before	after
TIG remelted	96.4	35	3.6	65
ground	98.8	2	1.2	98

测, 试样在空泡腐蚀 10 min 后就产生了相变. 磨削试样在约 5 h 后达到相变饱和点, 而 TIG 重熔试样在约 7.5 h 后达到相变饱和点. 表明 TIG 重熔试样在延长相变周期的同时, 也吸

收了更多的空泡冲击能. 表 3 给出了试验前和 45 h 试验后 2 种试样的相体积分. 磨削试样表面的马氏体约 98%, 而 TIG 重熔表面的马氏体只有 65%. 这也表明 TIG 重熔确实延缓了相变.

试样质量损失的主要形式是相变产生的片状 ε 马氏体在空泡冲击下逐渐产生扭曲和断裂, 并且被剥落 (图 4c, d). 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.

图 6 给出了空泡腐蚀 45 h 后, TIG 重熔试样 (图 6a) 和磨

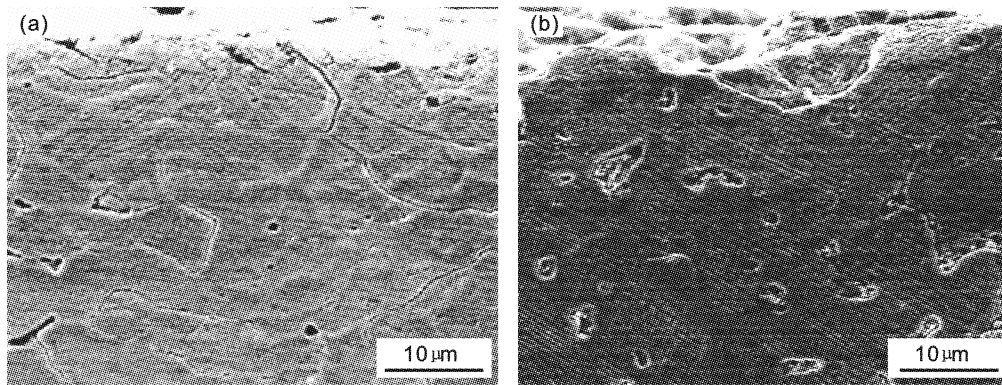


Fig. 6 Cross-sectional SEM images of specimen after cavitation-erosion test (a) TIG remelted, (b) ground

削试样(图 6b)的横截面 SEM 图像。可以看出, TIG 重熔试样中马氏体层的厚度约为 $10\ \mu\text{m}$, 而磨削试样的马氏体厚度则约为 $50\ \mu\text{m}$ 。显然磨削表面腐蚀更严重。

2.3 相变饱和后 TIG 表面重熔试样的表面剥蚀变化

图 6 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 6 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。因此它避免了大块物质剥落。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 Stellite 21 材料吸收空泡冲击能的主要途径。而 TIG 重熔表面可以提高相变抵抗力, 使相变饱和时间延迟, 从而吸收了更多空泡冲击能, 延缓并降低了质量损失。

3. 在材料表层转化为片层状马氏体后, TIG 重熔表面可以抑制裂纹传播, 避免了大块物质的剥落。

参考文献:

- [1] S C Li, Cavitation of Hydraulic Machinery[M], Imperial College Press, 2000 : 277.
- [2] M Szkodo, Relationship between microstructure of laser alloyed C45 steel and its cavitation resistance[J], Journal of Materials Processing Technology, 2005, 162: 410.
- [3] Jonathan S Ogborn. Submerged Arc Welding[J], ASM International, 1993, 13: 202.
- [4] F T Cheng, K H Lo, H C Man, Surface Coating technology [J], Wear, 2003, 172: 308.
- [5] Boleslaw G. Giren, Marek Szkodo, Janusz Steller, Cavitation erosion of some laser - produced iron-based corrosion-resistant alloys[J], Wear, 2005, 258: 614.
- [6] 高阳, 佟百运, 梁勇. 激光熔敷 Ni 基合金涂层的结构与性能[J]. 材料研究学报. 2003, 17(1) : 88
- [7] 罗伟, 张孝彬. 1Cr18Ni9Ti 表层微束等离子弧重熔抗蚀性的研究[J]. 材料保护. 1999, 32(3) : 13.
- [8] N Murugan, R S Parmar, Stainless Steel Cladding Deposited by Automatic Gas Metal Arc Welding[J], Welding Research Supplement, 1997, Oct: 391.
- [9] Annual Book of ASTM Standards[S]. 2002. 187.
- [10] 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.
- [11] John Price Hirth, Jens Lothe, Theory of Dislocation[M], New York: John Wiley & Sons, Inc. 1982. 306.