

Ni 基等离子堆焊合金的空蚀行为 *

国旭明^{1,2} 郑玉贵¹ 姚治铭¹

(1. 中国科学院金属研究所腐蚀与防护国家重点实验室 2. 沈阳工业大学)

摘 要 使用超声振荡空蚀实验设备研究了 Ni 基等离子堆焊合金在蒸馏水中的空蚀行为。堆焊合金的显微组织由奥氏体基体、第二相以及共晶组织组成, 奥氏体基体的固溶强化以及大尺寸硬质相有效抵御微射流的冲击, 是 Ni 基等离子堆焊合金具有高的抗空蚀性能的主要原因。

关键词 Ni 基合金 堆焊 空蚀

分类号 TG407

文章编号 1005-3093(2002)06-0570-05

CAVITATION EROSION OF PTA WELD-SURFACED Ni-BASED ALLOY LAYERS

GUO Xuming^{1,2**} ZHENG Yugui¹ YAO Zhiming¹

(1. State Key Laboratory for Corrosion and Protection, Institute of Metal Research,
Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016
2. Shenyang University of Technology, Shenyang 110023)

* Supported by National Natural Science Foundation of China No. 59831030 and the Special Funds for The Major State Basic Research Projects G19990650. Manuscript received Sept 24, 2001; in revised form March 12, 2002.

** To whom correspondence should be addressed, Tel:(024)23915904,
E-mail: xmguo@imr.ac.cn

ABSTRACT The resistance to cavitation erosion of plasma transferred arc (PTA) weld surfaced Ni-based alloy in distilled water was investigated by a ultrasonic vibratory apparatus. The result shows that the cavitation erosion resistance of Ni-based surfacing alloy is 2 times that of 0Cr13Ni5Mo stainless steel. The microstructures of the surfacing alloy consist of austenite matrix, the second phases and the eutectic structures. The improvement in cavitation erosion resistance can be attributed to the solution strengthening of γ -NiCrFe matrix and the presence of large amounts of borides and carbides with large size which withstood the impingement of water microjet.

KEY WORDS Ni-based alloy, PTA surfacing, cavitation erosion

空蚀发生在水轮机、水泵、螺旋桨等水利机械的过流部件的表面^[1,2]。NiCrBSi 镍基自熔合金粉末具有优良的耐磨性、抗腐蚀性和良好的工艺性能, 作为表面强化材料得到了广泛应用^[3,4]。人们也研究了用不同工艺方法熔敷的 Ni 基自熔合金的抗空蚀性能。Sang 和 Li^[5] 研究了火焰喷焊的 Ni 基合金涂层的抗空蚀性能, Kwok 等^[6,7] 研究了激光表面熔敷的 Ni 基合金涂层的抗空蚀性能。结果表明, 用两种工艺方法得到的 Ni 基合金涂层的抗空蚀性能都明显高于抗空蚀性能优良的不锈钢。但火焰喷焊易在涂层中产生气孔、夹杂等缺陷, 而且涂层厚度不均匀; 虽然激

* 国家自然科学基金重点资助项目 59831030 和国家重点基础研究资助项目 G19990650。

2001 年 9 月 24 日收到初稿; 2002 年 3 月 12 日收到修改稿。

本文联系人: 国旭明, 沈阳市 110016, 中国科学院金属研究所

光表面合金化的涂层质量好、稀释率低, 但加工成本高。粉末等离子堆焊工艺具有较高的熔敷率、相对低的稀释率、易于保证涂层质量以及加工成本较低等优点^[8]。本文研究等离子堆焊得到的镍基合金涂层的空蚀行为。

1 实验方法

实验用 Ni60 镍基自熔合金粉末的粒度为 0.06~0.2 mm, 其化学成分列于表 1。粉末堆焊是在 DP-500 型粉末等离子堆焊设备上, 作为基体的低碳钢板的尺寸为 100 mm×150 mm×20 mm, 堆焊的工艺参数为: 转移弧电流 110~130 A, 转移弧电压 30 V, 送粉量 1.8 kg/h, 线速度 1.5 m/h, 摆宽 25 mm, 摆频 40 r/min, 离子气流量 0.35 m³/h, 送粉气流量 0.8 m³/h, 堆焊层厚度 2.5~3 mm。堆焊后用磨床将堆焊层磨平, 使其厚度为 2 mm, 然后用线切割加工成实验所需的试样。空蚀实验在美国 Misonix 公司生产的 XL2020 型超声振荡空蚀实验机上进行, 振动频率为 20 kHz, 峰-峰振幅为 60 μm。受空蚀破坏的试样前端的表面为圆形, 表面积为 256 mm²。实验介质为蒸馏水, 其作用是减轻腐蚀因素的影响。实验前, 将所有试样研磨和抛光, 然后用感量为 0.1 mg 的分析天平称重。在实验中, 每隔一定时间, 超声清洗试样并称其质量, 以确定试样的质量损失。以水轮机用 0Cr13Ni5Mo 马氏体不锈钢作为对比材料, 其化学成分也列于表 1。用扫描电镜和 X-射线衍射仪观察、分析空蚀的试样表面。

表 1 实验材料的化学成分 (质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of experimental materials (mass fraction, %)

Material	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	B	Fe
Ni60	0.7~1.0	-	3.5~5.5	bal	15~18	-	3.0~4.5	≤5
0Cr13Ni5Mo	0.045	0.58	0.31	5.6	12.6	0.72	-	Bal

2 结果与讨论

2.1 Ni 基等离子堆焊合金的组织结构

由图 1 可见, Ni60 等离子堆焊合金由奥氏体基体 (γ -FeCrNi)、第二相以及共晶组织组成。X 射线衍射分析表明, 这些第二相包括: 铬的硼化物 (CrB)、铬的碳化物 (Cr_7C_3 、 Cr_{23}C_6)、镍的硼化物 (Ni_3B) 等。第二相的尺寸极不均匀, CrB、 Cr_7C_3 的尺寸较大, 而 Ni_3B 、 Cr_{23}C_7 的尺寸相对较小并与 Ni 基固溶体组成共晶组织。Ni60 堆焊合金中的大量合金元素, 使基体的固溶强化效果显著, 合金组织中大量弥散分布的第二相硬质颗粒, 显著提高了 Ni60 堆焊合金的硬度 (HRC 55~60)。

2.2 Ni 基等离子堆焊合金的空蚀行为

图 2 表明, 空蚀 4 h 后, Ni 基堆焊合金的累计质量损失为 23.9 mg, 而 0Cr13Ni5Mo 不锈钢的累计质量损失为 50.6 mg, 是 Ni 基合金的 2 倍多。这表明 Ni60 等离子堆焊合金的抗空蚀性能比现有水轮机用材的抗空蚀性能高。Ni 基等离子堆焊合金的累计质量损失与时间几乎成线性关系, 说明孕育期很短。

空蚀 0.5 h 后, Ni 基合金表面在空泡溃灭时产生的微射流或冲击波的作用下, 裂纹源在较小的硬质相与基体界面之间形成, 然后沿着硬质颗粒的边界扩展, 其中一些尺寸更小的颗粒脱

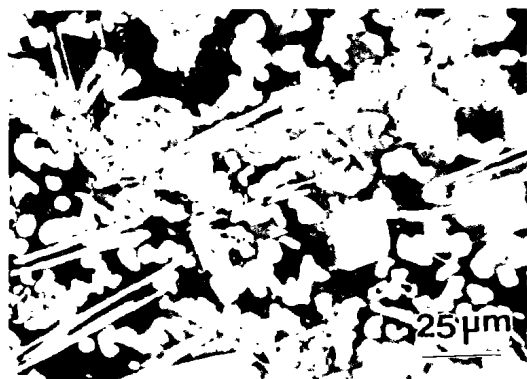


图 1 Ni 基堆焊合金的显微组织

Fig.1 Microstructure of Ni-based surfacing alloy

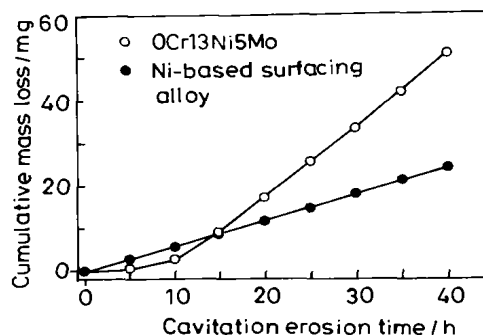


图 2 Ni 基堆焊合金与 0Cr13Ni5Mo 不锈钢的累计空蚀质量损失曲线

Fig.2 Cumulative mass loss curve of cavitation erosion

落, 导致材料的失重. 尺寸较大的硬质相的表面和界面保存完好 (图 3a). 这是因为第二相与基体的力学性能的不同, 导致在第二相与基体之间的界面产生应力集中. 在这个应力的连续作用下产生裂纹, 使小的硬质相脱落. 大尺寸硬质相的表面大于微射流的作用面积, 显示出整体材料的性能, 由于其很高的硬度, 能够有效反弹微射流或冲击波产生的冲击力. 因此, 在空蚀的初期大尺寸硬质相保持完好, 提高了 Ni 基合金的抗空蚀性能. 同时, 奥氏体基体中含有大量的 Ni、Cr、Si、C 等合金元素, 其固溶强化的程度很高. 因此在空蚀的初期, 奥氏体基体不易产生塑性变形和开裂. 空蚀 1.5 h 后, 基体产生了明显的塑性变形和空蚀微坑, 在试样表面小的硬质相由于与基体的变形不一致, 受到基体变形的挤压, 开始发生明显的脱落. 同时, 大的硬质颗粒表面在不断的连续微射流的作用下, 裂纹和微坑也开始产生, 并在其内部扩展 (图 3b). 空蚀 4 h 后, 大尺寸的硬质相开始破碎和剥落, 但整个试样表面没有局部的深坑出现, 材料是从试样的表面均匀脱落的 (图 3c).

0Cr13Ni5Mo 不锈钢, 其金相组织为板条马氏体, 不含有任何硬质相. 空蚀 0.5 h 后, 0Cr13Ni5Mo 不锈钢试样的表面发生了与马氏体板条方向一致的塑性变形, 这说明马氏体的塑性变形受到了板条边界的阻碍, 变形被限制在马氏体板条之间 (图 3d). 空蚀 1.5 h 后, 马氏体板条的塑性变形耗尽, 试样的表面发生了材料的脱落, 出现了许多空蚀坑 (图 3e). 空蚀 4 h 后, 材料表面的脱落非常严重, 出现了大面积的脱落现象, 空蚀坑变深、变大 (图 3f). 这说明 0Cr13Ni5Mo 马氏体不锈钢的抗空蚀性能比 Ni60 堆焊合金差.

可见, Ni60 等离子堆焊合金中大量的 Ni、Cr、Si、C、B 等合金元素, 不仅使奥氏体基体得到显著强化, 而且析出的尺寸较大的碳化物和硼化物等硬质相能够有效地抵御空泡溃灭时产生的微射流的作用, 使其具有较好的抗空蚀性能. 而在 0Cr13Ni5Mo 不锈钢中, 虽然马氏体的存在使基体的硬度也很高 (HRC36), 但仍比 Ni 基合金中奥氏体基体的硬度低. 对于无应力诱发马氏体相变的合金, 硬度是决定合金抗空蚀性能的关键因素^[6]. 同时, 马氏体基体的塑性、韧性较差, 变形能力和抵抗裂纹扩展能力较小, 降低了 0Cr13Ni5Mo 不锈钢的抗空蚀性能.

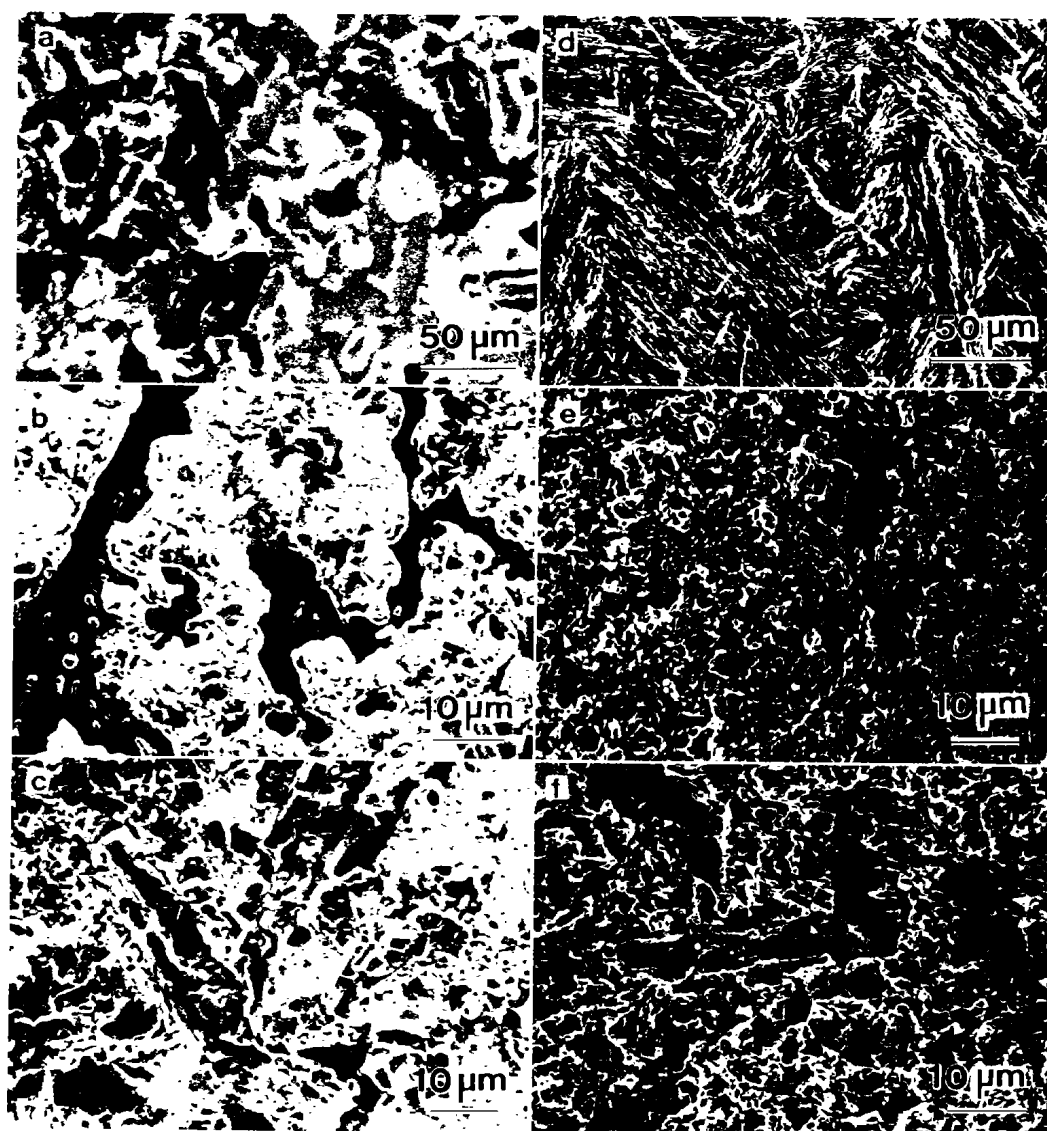


图 3 Ni 基堆焊合金和 0Cr13Ni5Mo 不锈钢空蚀形貌的 SEM 照片

Fig.3 Morphologies of Ni-based alloy (a,b,c) and 0Cr13Ni5Mo steel (d,e,f) after cavitation erosion for 0.5 h (a,d), 1.5 h (b,e) and 4 h (c,f)

3 结 论

在空蚀的作用下, Ni 基堆焊合金中的裂纹在小颗粒硬质相与基体界面之间产生和扩展, 导致小颗粒脱落. 奥氏体基体的固溶强化以及大尺寸硬质相有效抵御微射流的冲击, 是 Ni 基堆焊合金具有较高抗空蚀性能的主要原因.

参 考 文 献

- 1 R.T.Knapp, J.W.Daily, F.G.Hammit, Cavitation and Multiphase Flow Phenomena, (New York: McGraw-Hill, 1970)p.2
- 2 C.T.Kwok, H.C.Man, L.K.Leung, Wear, **211**, 87(1997)
- 3 H.J.Kim, Y.J.Kim, Surface Engineering, **15**(6), 495(1999)
- 4 R.L.Sun, D.Z.Yan, L.X.Guo, Surface and Coatings Technology, **132**, 251(2000)
- 5 K.Sang, Y.Li, Wear, **189**, 20(1995)
- 6 C.T.Kwok, F.T.Cheng, H.C.Man, Surface and Coatings Technology, **107**, 31(1998)
- 7 C.T.Kwok, H.C.Man, F.T.Cheng, Materials Science and Engineering, **A303**, 250(2001)
- 8 R.L.Deuis, J.M.Yellup, C.Subramanian, Composites Science and Technology, **58**, 299(1998)

MCGM'2003 第六届国际粉体检测与控制学术会议征文通知

第六届国际粉体检测与控制学术会议将于 2003 年 8 月 20 日至 22 日在中国上海召开。这次会议由国际粉体检测与控制联合会 (IFMCGM) 和中国颗粒学会、中国仪器仪表学会以及中国计量学会共同发起, 由东北大学和上海宝山钢铁股份有限公司联合承办。会议的征文内容范围:

- 1) 关于颗粒、块(状)和浆(液)等粉粒物料参数的测量, 包括温度、密度、压力、湿度、流量、含水量、粘性、膨胀度、位置、尺寸、质量、形状和分布等;
- 2) 采矿和矿物工业中原料的开采、粉碎、运输、筛分、浮选和精选等工艺的过程控制;
- 3) 冶金工业中原料的制备、火冶法和烧结等工艺的过程控制;
- 4) 水泥及陶瓷工业中原料的制备、焙烧、填料和烘干等工艺的过程控制;
- 5) 在煤炭的制备中研磨、输送、流化床等工艺的过程控制;
- 6) 在石油、化工、医药、造纸、食品和纺织等行业中水处理和粉尘处理等有关粉粒物料的过程控制;
- 7) 工业过程的成像技术及其应用;
- 8) 其它有关粉体、颗粒、浆(液)材料的测量与控制的理论研究或实际应用。会议的论文集将被 ISTEP 收录。关于这次会议的相关信息和进一步要求, 请浏览《沈阳测控信息网》, 网址: www.syias.org.cn。电话: (024)25415320, 25691417; 传真: (024)25415320; 电子信箱: webmaster@syias.org.cn; webmaster@meeting.org.cn。

国际粉体检测与控制联合会

2002 年 9 月 20 日