

文章编号: 1006-3471(2003)01-0054-06

铁铬合金空蚀过程的研究

白霞, 孙冬柏, 俞宏英*, 孟惠明, 李辉勤, 樊自拴

(北京科技大学腐蚀与防护中心, 北京 100083)

摘要: 研究了4种铁铬合金在氯化钠溶液体系中的空泡腐蚀行为。重点考察合金性能及空泡作用区的相对面积对合金空蚀损失量的影响。结果表明: 合金空蚀损失量随空泡作用区与非空泡作用区表面面积比的增大而增加; 合金的耐蚀性和机械性能同时影响其空蚀损失量。

关键词: 铁铬合金; 空蚀; 电偶腐蚀; 机械性能; 耐蚀性能

中图分类号: TG 171

文献标识码: A

钝性合金在空蚀过程中存在力学与电化学过程的协同作用。在空泡腐蚀过程中, 空泡溃灭所形成的强烈力学作用使得合金的局部表面产生弹塑性变形, 甚至导致表面膜受损, 露出新鲜无膜金属表面, 并在合金表面形成腐蚀电偶作用。由于腐蚀点的形成造成局部应力集中, 加强了空泡溃灭对合金局部的力学破坏作用, 又因空蚀过程的力学作用与电化作用相互促进, 从而使金属材料的力学性能和耐蚀性能共同影响其空蚀过程的空蚀损失量。

本文就不同铁铬合金在不同的空泡作用量和相对面积不同的空泡作用区情况下研究了空蚀行为及空泡溃灭对材料产生的力学作用, 以期揭示合金的耐蚀性能和力学性能对其空蚀行为的影响。

1 实验

采用电火花空泡发生设备产生空泡。图1为空泡腐蚀实验装置示意图, 详见文献[1]。可通过改变装置参数, 如放电电压(U), 放电电极

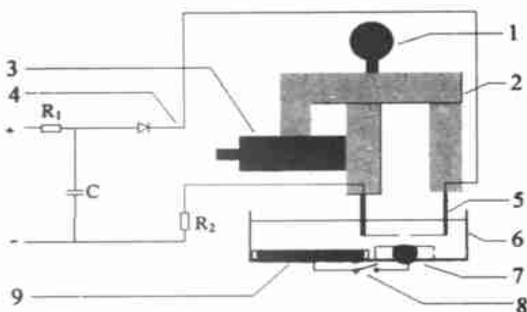


图1 空泡腐蚀实验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram for cavitation damage apparatus

1) Micrometer; 2) Support frame; 3) Micrometer; 4) Wire; 5) Discharge electrode; 6) Solution; 7) Working electrode (sample A); 8) Switch; 9) Assistant electrode (sample C)

收稿日期: 2002-07-23, 修订日期: 2002-09-23

* 通讯联系人, Tel: (86-10) 62332548

国家自然科学基金(59871011)资助

间距(d), 放电电极距试样表面的距离(L)、连续放电次数(Q)等设定实验条件. 连续空泡的间隔时间为 1 s

依图 1 设定各装置参数进行实验. 实验后, 于实验溶液中加入适量的盐酸及还原剂, 以使试样(合金电极)中由于空蚀作用而剥离以及因腐蚀而溶解的铁均转化为二价铁离子, 然后用分光光度法测定溶液中 Fe^{2+} 的量, 从而定量得出铁的损失量, 即合金的空蚀损失量

为了研究空泡作用表面和非空泡作用表面间的电化学差异对空蚀过程的影响, 按图 1 装置, 于电解池内放置两块合金试样 A、C, 其中 A 为受空蚀作用试样, C 为不受空蚀作用的试样, A、C 可通过导线连接形成电偶, 实验分两种情况进行: 1) A、C 耦接(A-C): 闭合电键; 2) A、C 不耦接(A): 打开电键(见图 1). 比较以上二种实验结果, 便不难获悉电偶可形成对空蚀过程的促进作用

采用压力传感器测量单个空泡溃灭时作用于金属表面的压强, 进而分析空蚀过程力学因素的影响, 相关装置如图 2^[2]所示

实验中采用的铁铬合金 1Cr13, 0Cr18Ni9, 00Cr18Mo2 和 00Cr2Mo1 材料的主要化学成分见表 1, 表 2 列出了此 4 种铁铬合金的室温力学性能^[10].

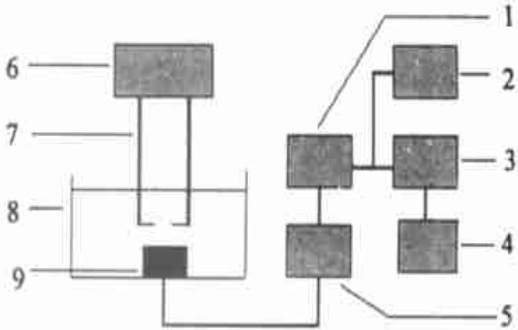


图 2 空泡溃灭压力测量装置示意图

Fig 2 Schematic diagram for impact pressure measuring system

- 1) Charge amplifier; 2) Oscillograph; 3) AD/DA conversion operator; 4) Computer; 5) Pressure transducer; 6) Spark-generation equipment; 7) Discharge electrode; 8) Tank; 9) Sample

表 1 空蚀实验用不同铁铬合金的化学成分

Tab 1 Chemical composition of the various Fe-Cr alloys for cavitation damage experiments

Alloy	Composition %			
	C	Cr	Ni	Mo
1Cr13	0.13	11.17	—	—
0Cr18Ni9	0.08	18.07	9.35	—
00Cr18Mo2	0.02	19.1	0.21	1.14
000Cr2Mo1	0.002	25.05	—	1.05

表 2 铁铬合金的室温力学性能

Tab 2 Mechanical properties of the Fe-Cr alloys in room temperature

Alloy	Mechanical properties %			
	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ	Microhardness kg/mm^2
1Cr13	588	412	20	187
0Cr18Ni9	541	196	40	148
00Cr18Mo2	25	45	25	218
0000Cr26Mo1	45	30	20	264

根据对实验所用的电火花空泡发生装置的测试结果^[2], 其产生的空泡的直径约 8 mm. 为此, 将受空蚀作用的试样 A 机械加工成直径为 8 mm 的圆柱体, 其侧面及底部则用环氧树脂固封, 这样空泡作用的表面即为直径 8 mm 的圆形区域. 未受空蚀作用的试样 C 则加工成矩形, 根据实验要求改变面积大小. 两试样均用 SiC 水砂纸逐级打磨至 800 号, 蒸馏水冲洗, 丙酮棉擦净, 静置 2 min. 实验溶液为 3 wt% 氯化钠溶液.

2 结果与讨论

2.1 力学测试结果

图 3 示出单个空泡溃灭过程中产生的压力变化曲线. 由于空泡溃灭过程中, 合金表面经受巨大的冲击. 在 $U = 764$ V, $d = 0.3$ mm 和 $L = 3$ mm 的实验条件下, 冲击压强最大可达 5 MPa. 在这一高压强的反复作用下, 合金的局部表面将产生弹塑性变形, 甚至表面膜受损, 露出新鲜无膜的金属表面.

2.2 电偶作用在空蚀过程中的影响

图 4 表明, 1Cr13 合金在 A 和 A-C 两种实验条件下, 其空蚀损失量均随空泡作用量的增加而增加; 而且过程中电偶的形成强化了合金表面的金属流失.

根据力学化学理论, 当电极上应力加载时, 阳极极化参数将发生变化 (活性溶解电位和过钝化电位降低, 钝化电位升高, 活性溶解电流密度和钝化电流密度增大), 即力学作用产生并加强了金属阳极溶解过程. 同时, 金属表面因腐蚀作用而形成一系列腐蚀点后, 其倒波作用将使局部应力愈加集中, 此时力学作用与电化学作用相互促进, 加速了金属流失.

空泡溃灭造成合金表面的弹塑性变形将随着空泡作用量 (quantity) 的增加而增加. 图 5 示出在不同空泡作用量 (即空泡作用个数) 下, 由分光光

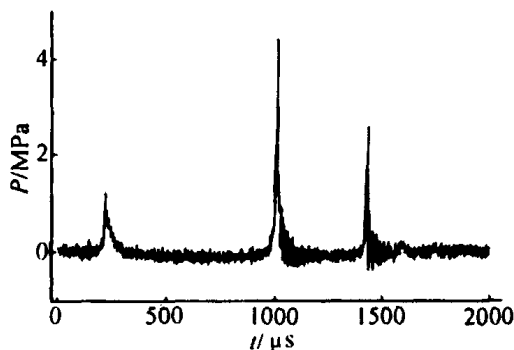


图 3 空泡溃灭压力随时间的变化曲线

Fig 3 The variance of cavitation bubble collapse pressure with time $U = 764$ V, $d = 0.3$ mm, $L = 3$ mm

度法测定的 1Cr13 合金试样于 A、C 耦接(A-C)及 A、C 不耦接(A)两种实验情况下空蚀过程中的金属损失量 M_{LFe} 。由图可见,随着空泡作用量的增加,金属的损失量显著上升。

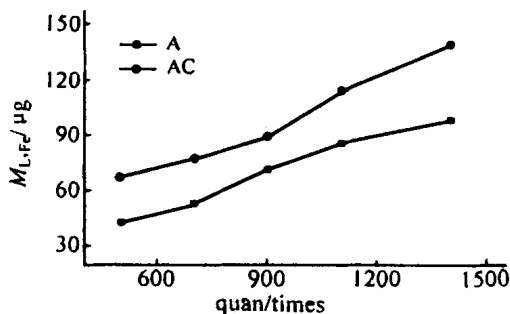


图 4 空蚀过程 1Cr13 合金损失量与空泡作用量的关系

Fig 4 Variance of the alloy mass loss (M_{LFe}) with bubble quantity (quan) for 1Cr13 SS $U = 945$ V, $d = 0.3$ mm, $L = 3$ mm

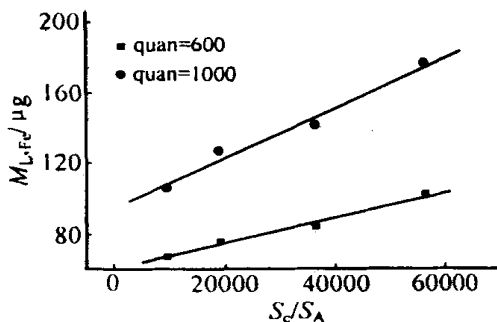


图 5 1Cr13 合金损失量与 A、C 表面积比(S_c/S_A)的变化关系

Fig 5 Variance of the alloy mass loss (M_{LFe}) with S_c/S_A for 1Cr13 Alloy in 3wt% NaCl solution $U = 945$ V, $d = 0.3$ mm, $L = 3$ mm

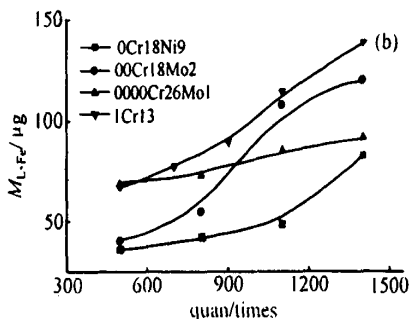
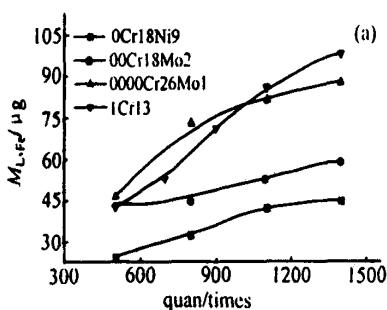


图 6 空蚀过程中铁铬合金损失量与空泡作用量的关系

Fig 6 Variance of the Fe-Cr SS mass loss with bubble quantity a) A; b) A-C. $S_c = 104 \text{ cm}^2$

2.3 铁铬合金耐空蚀能力的比较

图 6 为空蚀过程中,在 A 和 A-C 两实验条件下各铁铬合金损失量与空泡作用量的关系曲线。综合比较图 6 各曲线可知,不论是 A 或 A-C,此 4 种铁铬合金的抗空蚀性能,均以 0Cr18Ni9 合金最佳,而 1Cr13 的抗空蚀能力较差,00Cr18Mo2 和 0000Cr26Mo1 居中。

早期曾普遍认为硬度是预测金属材料抗空蚀能力的重要参数。由于硬度的测量简便易行,至今仍有许多研究单位沿用此法。但就本文表 2 所列各铁铬合金的硬度大小看,即 $0000\text{Cr}26\text{Mo}1 > 00\text{Cr}18\text{Mo}2 > 0\text{Cr}18\text{Ni}9$, 其与抗空蚀性能的排序并不一致,反而是硬度低的材料,如 0Cr18Ni9 抗空蚀性能更好。

据表 2,从材料的抗拉强度、屈服强度及延伸率来看,奥氏体不锈钢 0Cr18Ni9 优于铁素体

不锈钢 00Cr18Mo2, 0000Cr26Mo1 这同其抗空蚀能力的表现一致 1Cr13 为马氏体不锈钢, 其抗拉强度、屈服强度及延伸率均优于 00Cr18Mo2, 0000Cr26Mo1 及 0Cr18Ni9, 但耐蚀性远远不及 0Cr18Ni9, 00Cr18Mo2, 0000Cr26Mo1 可见, 材料的耐蚀性是抗空蚀性的一个重要参数 就 00Cr18Mo2, 0000Cr26Mo1 铁素体不锈钢而言, 铬含量的增加对其性能的影响主要是增加脆化性能^[10], 特别是当含铬量超过 15%~16% 后, 虽其韧性下降更为明显, 但耐蚀性却大大提高 空蚀过程中, 要求材料具有好的韧性以抵抗空泡溃灭产生的高压强对材料表面的反复冲击, 同时也要求材料具有好的韧性以抵抗因力学作用而强化了了的腐蚀作用 据上述实验结果及相关分析可以认为: 材料的抗空蚀能力与材料的抗拉强度、屈服强度以及材料的耐蚀性成正比

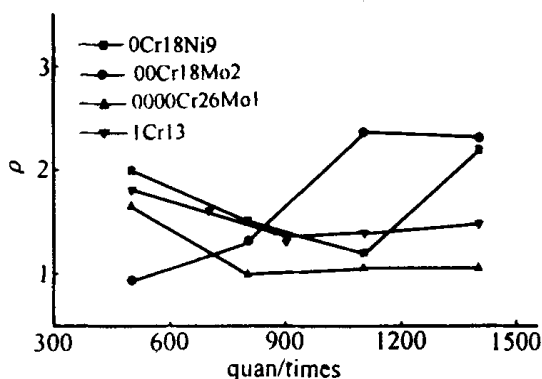


图 7 4 种铁铬合金空蚀过程电偶作用加速强度随空泡作用量的变化关系

Fig 7 Relationship of between the acceleratting strength of galvanic effect (ρ) and bubble quantity for four Fe-Cr alloys

图 7 为各铁铬合金在空蚀过程中电偶作用的加速强度随空泡作用量的变化关系 图中 ρ 为 A-C 和 A 的合金损失量 (M_{LFe}) 比值, 相当于电偶作用对空泡腐蚀过程的加速强度 实验表明, 不同合金在不同的空泡作用量条件下, 电偶作用对空泡腐蚀过程的加速作用强度不尽相同 据图 7, 当空泡作用量大于 900 时, 各合金的电偶加速强度依次为 0000Cr26Mo1 < 1Cr13 < 0Cr18Ni9 < 00Cr18Mo2 其中 0Cr18Ni9, 0000Cr26Mo1 和 1Cr13 等 3 种不锈钢表现出随着空泡作用量的增加, 电偶作用加速强度由减弱转变为增强的趋势 而对 00Cr18Mo2, 则其电偶加速强度随空泡作用量的增加而趋于平缓 空蚀过程中, 空泡连续产生并溃灭, 金属空泡作用区表面受到空泡溃灭所产生的高压强或高应力的反复作用, 发生弹塑性形变, 于是空泡作用区与非空泡作用区表面状态差异增大, 这种差异增大的幅度同合金的力学性能及其耐蚀性能密切相关, 而电化学作用也因这种差异的增大而加强 00Cr18Mo2 不锈钢具有较大的电偶加速强度, 可能与合金中 Mo(t) 含量有关 但对高纯 Cr 铁素体不锈钢, 其在含 Cl⁻ 介质中, 却会因较高的 Mo 含量而降低耐蚀性 这可能是由于 Mo 增加了表面膜的稳定性, 促进了钢的钝化, 从而提高了由于塑性变形而产生的无膜裸金属与周围有膜部位的电位差, 加速了阳极反应, 使力学作用产生的新生面腐蚀得更快、更严重

总之, 材料的耐空蚀性能须从材料的力学性能及耐蚀性能综合考虑

3 结 论

- 1) 空泡溃灭在材料表面产生较大的压强
- 2) 空蚀过程中的电偶效应随阴阳极面积比的增加而增强
- 3) 铁铬合金的耐空蚀性能须从材料的力学性能及耐蚀性能综合考虑

Behaviors of Fe-Cr Alloys during Cavitation Damage

BAIXia, SUN Dong-bai, YU Hong-ying*,

MENG Huiming, LI Hui-qin, FAN Zi-shuang

(UNDP Beijing Corrosion and Protection Center, University of
Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The influence of the surface galvanic effect on the behaviors of three Fe-Cr alloys during cavitation damage in NaCl solutions have been investigated. The results showed that the galvanic effect caused by the inhomogeneity between the undamaged surface of the alloy and the damaged one will be enhanced by the area ratio of the undamaged and the damaged. The behaviors of alloys during cavitation are closely related to both their mechanical performance and anti-corrosion capabilities.

Key words: Fe-Cr alloy, Cavitation damage, Galvanic effect, Mechanical performance, Anti-corrosion capability

References:

- [1] SUN Dong-bai, ZHANG Xiu-li, YU Hong-ying, et al. Experimental study on electrochemical potential in the process of cavitation damage [J]. Transactions of Corrosion and Protection of China, 2000, 20 (5): 308~ 311.
- [2] ZHANG Xiu-li, SUN Dong-bai, YU Hong-ying, et al. The study on electrochemical experimental device in cavitation damage [A]. The Latest Development of Corrosion Science and Technology-Papers for the 20th Anniversary of Corrosion and Protection Society of China [C]. Beijing: Chemical Industrial Press, 1999. 559~ 561.
- [3] WANG Zheng-qiao, WU You-lin, Stainless Steel[M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 1991. 84~ 136.
- [4] Gutman ZM. Mechanical Chemistry and Anti-Corrosion of Metal [M]. Beijing: Science Press, 1989. 195 ~ 214.