

N80 钢抗固液两相冲刷腐蚀行为的研究

李涌泉, 余斌高, 刘建强, 李锋

(西安航空学院, 西安 710077)

摘要: 目的 研究 N80 钢在含有石英砂的不同浓度 NaCl 溶液中的冲刷腐蚀行为。方法 采用扫描电子显微镜(SEM)、能谱分析(EDS)等手段分析腐蚀产物的结构及相组成,通过失重法计算腐蚀速率。结果 腐蚀产物主要为 FeO 及 Fe_3O_4 。结论 随 NaCl 浓度的增加,N80 钢的腐蚀速率加快,当 NaCl 质量分数超过 7% 时,出现明显的点蚀。

关键词: N80 钢; 冲刷腐蚀; 点蚀

中图分类号: TG172.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2013)06-0037-03

Study on Erosion-corrosion of N80 Steel in Fluids with Solid Particles

LI Yong-quan, YU Bin-gao, LIU Jian-qiang, LI Feng

(Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the erosion and corrosion resistance and behavior of the N80 steel in NaCl solutions of different concentrations with 10wt% solid particles. **Methods** The erosion and corrosion products were analyzed by means of SEM and EDS, and the corrosion rate of the N80 steel was studied by the weight-loss method. **Results** The corrosion products of the steel were mainly composed of FeO and Fe_3O_4 . **Conclusion** The corrosion rate of the N80 steel accelerated with the increasing NaCl concentration, and pitting was formed on the surface of the sample when the concentration of NaCl was over 7%.

KEY WORDS: N80 steel; erosion and corrosion; pitting corrosion

在油气开采运输过程中,腐蚀是一个十分突出的问题。石油套管是固定油井井壁所用的钢管,石油管内的腐蚀以冲刷腐蚀为主。冲刷腐蚀是腐蚀性流体与材料间存在较高速度的相对运动时造成的材料加速破坏现象,是机械性冲刷和电化学腐蚀交互作用的结果^[1],主要受材料、电化学、固体颗粒、温度等因素的影响^[2],这些因素的交互作用给冲刷腐蚀的深入研究带来困难。文中主要研究 N80 油管钢在含石英砂的 NaCl 溶液中的冲刷腐蚀行为,分析腐蚀产物的结构和组成,拟揭示 Cl^- 在冲刷腐蚀中的作用机理和交互作用规律。

1 试验

所用 N80 钢与文献[3]中的相同,试样尺寸为 40 mm×10 mm×4 mm。试样经 80#—1000# SiC 砂纸逐级打磨,再经丙酮清洗后,烘干,备用。浆料中的磨料为多棱型刚玉(Al_2O_3),其直径为 180 ~ 240 μm ,硬度为 2000 ~ 2300HV^[3]。

实验中采用自制的冲蚀实验装置,如图 1 所示。浆料通过向 3.5%,7.0%,10.5%,14.0% 的 NaCl 溶液中加入 10% 刚玉制得(百分数均为质量分数,用蒸馏水配制)。实验时,温度为 20 $^{\circ}\text{C}$,冲蚀时间为 10 h,冲

收稿日期: 2013-07-05; 修订日期: 2013-08-08

Received: 2013-07-05; Revised: 2013-08-08

作者简介: 李涌泉(1985—),男,陕西人,硕士,讲师,主要研究方向为材料的腐蚀与防护。

Biography: LI Yong-quan (1985—), Male, from Shaanxi, Master, Lecturer, Research focus: corrosion and protection of materials.

蚀角 $\alpha = 90^\circ$, 转轴转速为 250 r/min。平行试样为 3 个。冲刷腐蚀后, 按照文献[3]中的方法, 计算腐蚀速率。

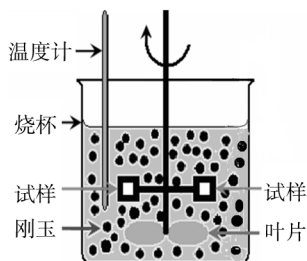


图1 冲刷腐蚀试验示意

Fig. 1 Diagram of erosion-corrosion tests

2 结果及讨论

2.1 冲刷腐蚀速率

图2给出了N80钢在不同浓度NaCl浆料中的腐蚀速率。可以看出,在3.5% NaCl浆料中,N80钢的腐蚀速率为 $2.8507 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,随着NaCl浓度的增加,N80钢的腐蚀速率加快。

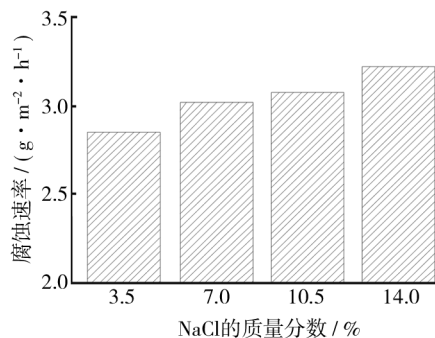


图2 N80钢在不同浓度NaCl浆料中的腐蚀速率

Fig. 2 Corrosion rate of the N80 steel in

NaCl solutions of different concentrations

2.2 冲刷腐蚀形貌及机理

图3为N80钢在不同浓度NaCl浆料中的宏观冲刷腐蚀形貌。可以看出,经冲刷腐蚀后,基材表面较为粗糙,分布有褐色的腐蚀产物,部分腐蚀产物脱落,裸露出基体,整体上呈均匀腐蚀。

图4为N80钢在不同浓度NaCl浆料中的微观冲刷腐蚀形貌。可以看出,虽然冲蚀料浆的浓度不同,但腐蚀微观形貌相似,分别由层片状组织及黑灰色组织组成。EDS分析(表1)表明,层状组织中(图4中1, 3, 5, 7处)的Fe元素含量较低,而O含量较高,由此推断其为腐蚀产物膜,主要成分为FeO和Fe₃O₄。此外,随着浆料中NaCl浓度的提高,腐蚀产物中的O含量增加,黑灰色组织(图4中2, 4, 6, 8处)的Fe原子数分数达85%以上,表明该组织为裸露的基体。

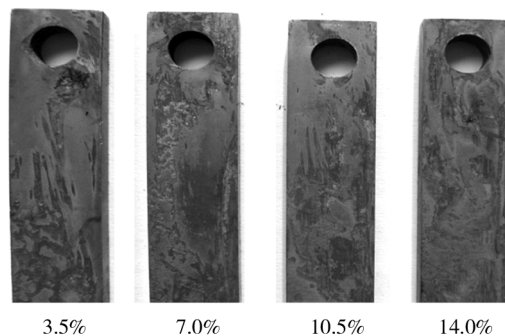


图3 N80钢在不同浓度NaCl浆料中的宏观冲蚀形貌

Fig. 3 Macroscopic corrosion configuration of the N80 steel in NaCl solutions of different concentrations

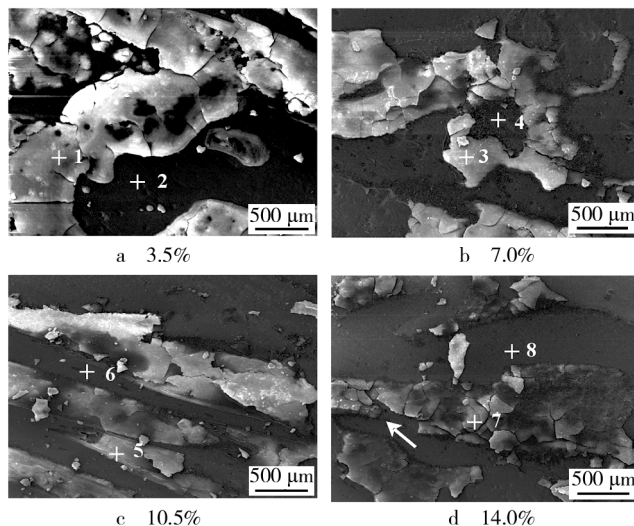


图4 N80钢在不同浓度NaCl浆料中的微观冲蚀形貌

Fig. 4 Microstructures of the N80 steel in NaCl solutions of different concentrations

表1 图4中各位置的EDS分析结果

Tab. 1 Chemical composition of the sites in Fig. 4, as determined by EDS analysis

位置	原子数分数/%				
	C	O	Si	Cl	Fe
1	17.58	40.72	0.79	1.04	39.74
2	4.55	8.69	—	—	86.76
3	19.11	42.65	0.63	1.31	36.30
4	5.37	7.35	—	—	87.28
5	18.24	43.39	0.73	1.28	36.36
6	7.48	6.69	—	—	85.83
7	15.06	45.32	0.60	1.63	37.39
8	10.52	7.16	—	0.31	82.01

分析认为,在冲蚀的初始阶段,刚玉颗粒将试样表面的氧化膜冲刷切削掉,露出基体,液相介质对基体产生腐蚀作用,在该体系中,Cl⁻本身不参与腐蚀反应^[4],但由于其迁移率很高,可作为催化剂大大促进腐蚀,尤其是显著地促进O₂的腐蚀反应^[5],因此该阶段下,N80钢的腐蚀主要是氧化腐蚀,且随着NaCl浓度的增

加,腐蚀加重。随着冲蚀的继续进行,在 90° 冲蚀角的条件下,固体颗粒的切削作用较低,但其冲击作用增强,因此腐蚀产物局部发生脱落,裸露出新的基体,并形成冲蚀剥落坑(图 4d 中箭头所指)。剥落坑的存在使液体在材料表面形成局部湍流,改变了固体颗粒的冲蚀角度,在一定程度上加剧了材料的冲蚀。

同时,在冲刷腐蚀过程中,腐蚀产物膜的局部开裂,形成小孔。孔内金属呈局部活化状态(电位较低),为阳极,孔外为阴极,从而形成大阴极、小阳极的活化钝化电池,孔内发生阳极溶解($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$),孔外则发生阴极还原反应($\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$),此过程造成孔内金属阳离子浓度增大。为保持电中性,孔外的 Cl^- 由于具有很强的穿透性^[6],能穿过腐蚀产物,并与孔内的 Fe^{2+} 等反应,形成高浓度的 FeCl_2 , FeCl_2 的水解降低了孔内的 pH 值,促进孔内加速溶解,最终形成点蚀,如图 5 所示。

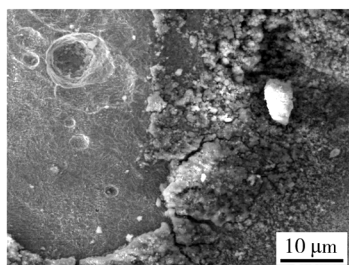


图 5 N80 钢在 7% NaCl 浆料中的点蚀形貌

Fig. 5 Pitting morphology on the surface of the N80 steel in 7% NaCl solution

3 结论

1) N80 钢在不同浓度 NaCl 浆料中的腐蚀产物均为 FeO 及 Fe_3O_4 , 氧化腐蚀为主要的腐蚀机理。

2) 固体粒子的冲蚀破坏了材料表面钝化膜,加速了 N80 钢的腐蚀速率。

3) 随着 NaCl 浓度的提高, N80 钢的腐蚀速率加快,当 NaCl 质量浓度超过 7% 时,出现点蚀。

参考文献

- [1] MSDSEN B W. Measurement of Erosion-corrosion Synergism with a Slurry Wear Test Apparatus [J]. Wear, 1988, 123 (2): 127—142.
- [2] 邢建东,高义民,张国赏. 不锈钢与高碳钢的冲刷腐蚀磨损试验研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(5): 469—473.
XING Jian-dong, GAO Yi-min, ZHANG Guo-shang. Investigation to Erosion-corrosion Behavior of Stainless Steel and High Carbon Steel [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(5): 469—473.
- [3] 李涌泉,田进. pH 值对 N80 钢固液两相冲刷腐蚀的影响 [J]. 表面技术, 2013, 42(5): 29—31.
LI Yong-quan, TIAN Jin. Influence of pH on Erosion-corrosion of N80 Steel in Fluids with Solid Particles [J]. Surface Technology, 2013, 42(5): 29—31.
- [4] NISHIMURA T, KATAYAMA H, NODA K, et al. Electrochemical Behavior of Rust Formed on Carbon Steel in a Wet/Dry Environment Containing Chloride Ions [J]. Corrosion, 2000, 56(9): 935—941.
- [5] 高丽丽. Mg-11Li-3Al-0.5RE 合金在酸性 NaCl 溶液中腐蚀特性研究 [J]. 表面技术, 2008, 37(2): 4—7.
GAO Li-li. Study on Corrosion Characteristic of Mg-11Li-3Al-0.5RE Alloy in Acidic Solution of NaCl [J]. Surface Technology, 2008, 37(2): 4—7.
- [6] 许淳淳. A3 钢在碱性 NaCl 体系中闭塞电池腐蚀的研究 [J]. 北京化工大学学报, 2000(2): 52—55.
XU Chun-chun. Study of Occluded Cell Corrosion of A3 Steel in Alkali NaCl Solution [J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2000(2): 52—55.
- [11] COSTA J M, FERREIRA J M, CAPELA C. Fracture Toughness of the Heat Affected Zone on Nd-YAG Laser Welded Joints [J]. Engineering Failure Analysis, 2009, 16: 1245—1251.
- [12] BORREGO L P, PIRES J T B, COSTA J M, et al. Fatigue Behaviour of Laser Repairing Welded Joints [J]. Engineering Failure Analysis, 2007, 14: 1586—1593.
- [13] ZHANG L, ZHANG Y K, LU J Z, et al. Effects of Laser Shock Processing on Electrochemical Corrosion Resistance of AN-SI304 Stainless Steel Weldments after Cavitation Erosion [J]. Corrosion Science, 2013, 66: 5—13.
- [14] 齐达,李晶,董力,等. 200 系列不锈钢耐腐蚀性能研究 [J]. 钢铁钒钛, 2010, 31(2): 72—75.
QI Da, LI Jing, DONG Li, et al. Study on Corrosion Resistance of 200 Series Stainless Steel [J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2010, 31(2): 72—75.
- [15] 胡永祥. 激光冲击处理工艺过程数值建模与冲击效应研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 76—81.
HU Yong-xiang. Research on the Numerical Simulation and Impact Effects of Laser Shock Processing [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008: 76—81.

(上接第 17 页)