

碱性介质中旋塞阀磨损失效分析

Failure Analysis on Wear of Stopcock in Alkali Solution

邱艳丽, 杨振国

(复旦大学 材料科学系, 上海 200433)

QIU Yan-li, YANG Zhen-guo

(Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

摘要: 采用金相显微镜和扫描电镜对在碱性介质中发生泄漏的不锈钢旋塞阀进行了宏观形貌和金相组织分析; 并采用光电直读光谱仪、EDS、红外碳硫分析仪和 NHO 分析仪对旋塞阀材质和表面沉积物进行了系统的表征分析。结果表明旋塞阀的失效模式为腐蚀磨损和磨粒磨损。阀门塞子材质与设计规定不符以及塞子材料抗腐蚀性降低是旋塞阀泄漏的主要原因。提出了解决问题的相应对策, 为防止类似事故的再次发生提供了技术依据。

关键词: 旋塞阀; 失效分析; 腐蚀磨损; 磨粒磨损

中图分类号: TE921 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2008)06-0060-04

Abstract: The macro appearance, morphology and metallographic structure of plug valve made of stainless steel and leaked in alkali solution were observed by metallurgical microscope and Scanning Electron Microscope (SEM). Also, photoelectric direct reading spectrometer, Energy Dispersive Spectrometer (EDS), carbon and sulfur analyzer and NHO-analyzer were used to analyze chemical composition of materials and substances deposited on sealing area. The results showed that the failure of stopcock was corrosive wear and abrasive wear. The main cause leak of stopcock was that the selected plug material was not in accordance with the design and thus reduced properties of its anti-corrosion. Moreover, countermeasures for solving the problem have been tentatively put forward, and the analysis results provided the technological support to prevent the same accident.

Key words: stopcock; failure analysis; corrosive wear; abrasive wear

上海某企业无水氨精馏塔原料泵入口旋塞阀, 使用 3 年发生内泄漏。该企业合成氨生产中 18% (质量分数, 下同) 浓氨水进精馏塔前为防腐蚀加入 32.5% NaOH 使其与酸性气体生成盐类。浓氨水用蒸汽精馏, 使氨水中的大部分氨集中到精馏塔顶, 冷凝后生成无水氨产品。为了查明阀门泄漏原因, 进行了宏观形貌观察、金相组织检验、材质化学成分分析以及表面沉积物成分分析, 明确了旋塞阀泄漏的主要原因以及失效机理, 并提出了相应的预防措施。

1 失效旋塞阀概述

1.1 旋塞阀型号和所处工况

失效旋塞阀按照设计规定所用材质为 SUS316L 不锈钢, 型号为 X41Y-300LbDN50, 驱动方式为正齿轮, 阀门在基准温度下允许的最大工作压力即公称压力为 29.4 MPa, 阀门与管道连接处通道的名义直径即公称通径为 50 mm^[1]。精馏塔原料泵入口旋塞阀工况

介质为 170℃, 10% ~ 20% 氨水和 0.1% ~ 0.5% NaOH, 含微量 H₂S 和 HCN, 工作压力 2.0 MPa。

1.2 外观形貌

旋塞阀的结构比较简单, 是由阀体、塞子、填料和压盖所组成。最简单的旋塞阀连填料和压盖也没有, 仅有阀体和塞子^[2], 如图 1 所示。带孔的塞子作为启闭件, 启闭时只要将塞子旋转 90°, 使塞子上的通道口相通或切断来实现启闭动作。在阀与管道的连接处可见锈蚀痕迹。由图 1 可见塞子外表面粗糙, 不均匀地覆盖一层黑色粉末, 并可见与塞子运动方向一致的明亮划痕; 在塞子内部上下壁覆盖着大量黑色粉末, 呈脆性剥落的块状。

1.3 金相试样的选取

选取塞子的带孔部位做金相样品, 见图 2。再在样品上取纵横试样各一块, 纵向试样取图 2 中带孔部位的纵向切面, 一边为塞子的内表面。横向试样为从带孔部位剖开的切取面, 带圆弧面为塞子的外表面。

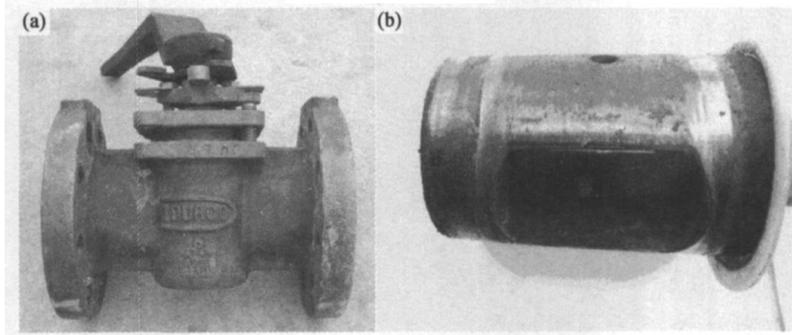


图1 旋塞阀的外观形貌 (a) 形貌;(b)塞子

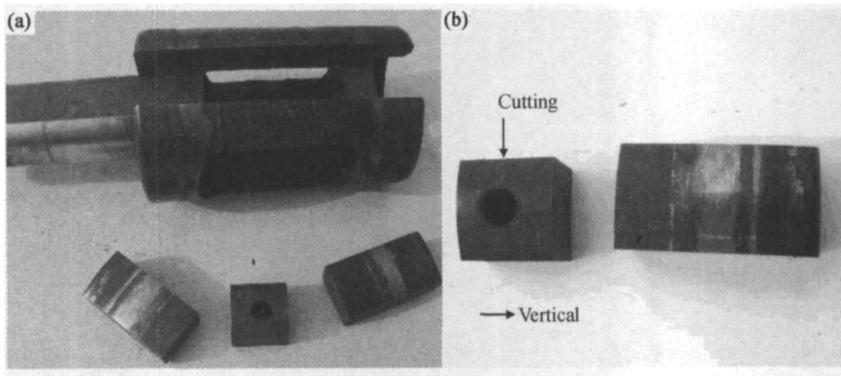
Fig. 1 Appearance of stopcock
(a) appearance of stopcock; (b) plug

图2 试样的选取 (a) 塞子;(b)塞子选取位置

Fig. 2 Samples selection
(a) plug; (b) location of samples

2 失效特征和分析

2.1 SEM 观察

对塞子表面的微观形貌进行观察。由图3可以看出,试样表面凹凸不平,虽经苦味酸清洗后仍留下潜藏的固相粒子,还存在一些黑色腐蚀坑。

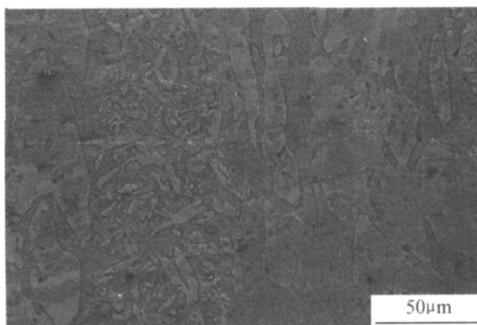


图3 塞子表面微观形貌

Fig. 3 Morphology of plug surface

2.2 金相分析

纵横试样经磨抛后在金相显微镜下观察均有弥散分布的点状黑色氧化物夹杂,见图4a。夹杂物对不锈钢的力学性能影响主要是降低材料的塑性、韧性和疲劳性能。由图4b可见试样局部区域有少量疏松存在。铸件中疏松的存在不但会降低其力学性能,而且对耐腐蚀性也有明显的影响。

在对试样浸蚀后,纵横显微组织未见差异,如图5所示,塞子的金相显微组织是由白色的奥氏体和灰黑色铁素体组成,在铁素体基体上分布有小岛状奥氏体,并有黑色点状碳化物析出。

2.3 旋塞阀化学成分分析

从表1旋塞阀塞子化学成分中可以看出,Cr含量远高于316L标准,Mo低于316L标准,而Ni含量远低于316L标准,通过表1可知,旋塞阀的化学成分不符合316L标准而符合SUS329J1标准。因此认定旋塞阀实际使用材质为SUS329J1不锈钢而非316L钢。329J1钢为 $\alpha+\gamma$ 高铬双相不锈钢,与316L钢一

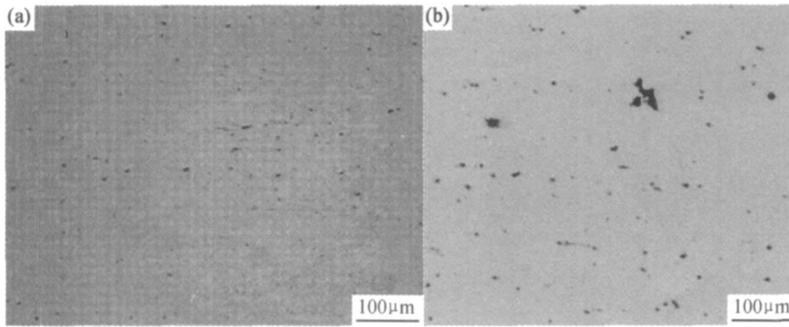


图 4 试样的表面形貌 (a) 夹杂物; (b) 疏松

Fig 4 Micro-appearance of samples' surfaces

(a) inclusions; (b) shrinkage porosity

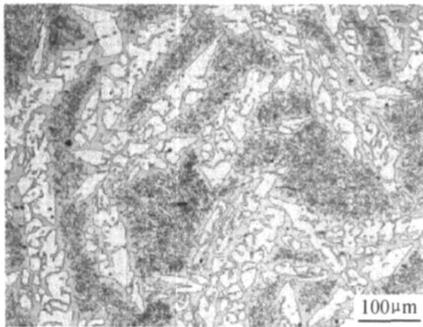


图 5 金相组织

Fig 5 Metallographic structure

样具有较好的综合力学性能,即强度高、韧性好,但 329 J1 钢在 650~ 959 °C 等温时有一个 σ 相析出^[3],使钢的耐腐蚀性及韧性下降,而且双相组织的形貌及其成分分布有时受工艺影响,从而影响材料的耐腐蚀稳定性。

2.4 沉积物成分分析

图 6 为样品表面沉积物的能谱图,其化学成分各元素质量分数分别为 Fe 87.21%, Cr 5.45%, O 5.50% 和 C 1.84%。采用 NHO 分析仪和红外碳硫分析仪对其精确分析,其质量分数分别为 N 0.250%, H 0.536%, O 23%, C 3.6% 和 S 0.06%。由此看出塞子表面沉积物成分中含有较高的 Fe, O, Cr 和 C 元

表 1 旋塞阀的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of the stopcock (mass fraction/%)

Element	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
Stopcock	0.02836	0.9169	0.00843	0.01099	0.02384	24.5968	4.9690	1.8973
316L ^[4]	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.045	16.0-18.0	12.00-15.00	2.00-3.00
329J1 ^[4]	≤0.08	≤1.00	≤1.50	≤0.030	≤0.040	23.0-28.0	3.00-6.00	1.00-3.00

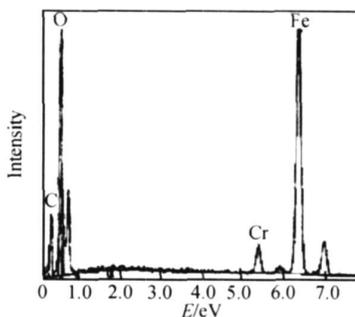


图 6 表面沉积物能谱图

Fig 6 EDS spectrum of particles covered on the plug

积物主要为铁的氧化物和少量的铬的氧化物,还有微量的硫化铁。

3 旋塞阀失效原因分析

3.1 阀门材质与设计规定不符

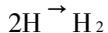
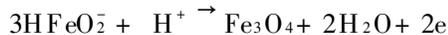
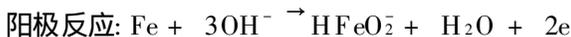
根据化学成分分析可知,失效旋塞阀塞子的材质不是设计规定的 316L 型超低碳奥氏体不锈钢材料,而是 329J1 双相不锈钢。与奥氏体不锈钢相比,329J1 双相不锈钢耐热性较低,一般控制在 300 °C 以下的工作环境中使用,冷加工比 18-8 型奥氏体不锈钢的加工硬化效果大,存在中温脆性区(如 σ 相,475 °C 脆性)对热处理及焊接的不利,而且含 25% Cr 的双相不锈钢比奥氏体不锈钢的加工困难^[5]。

素,并含有少量的 N, H 和 S 元素。N, H 和 S 元素来自于介质溶液中含有的杂质 HCN 和 H₂S, C 来自于金属基体材料和介质溶液。在塞子表面覆盖的黑色沉

塞子与阀体密封面之间是靠接触的本体金属来密封,密封力靠拧紧塞子下螺母实现。为了使较小的预紧力便能达到密封,塞子与阀体密封面的表面粗糙度要小,锥度配合要准,才能使该类旋塞阀易实现密封^[6]。而金相分析显示塞子内表面粗糙,存在夹杂物和疏松,这对材料的力学性能和工艺性能均有不利影响,从而降低了旋塞阀的密封性。

3.2 腐蚀磨损

根据金相分析和形貌观察可知塞子表面存在腐蚀磨损。腐蚀磨损是在腐蚀介质中摩擦表面与介质发生化学或电化学反应而产生材料流失的磨损现象,因而是在表面切应力和化学介质协同作用下导致材料的过早失效^[7]。材料在腐蚀磨损条件下,腐蚀作用加速了磨损行为,而磨损产生的新鲜表面又促进了腐蚀作用,同时腐蚀能够增加金属表面的粗糙度。塞子在使用中主要承受介质对其内壁的冲刷和启闭时阀体对塞子表面的摩擦力,在碱性腐蚀介质中,摩擦力破坏了塞子外表面的钝化膜,腐蚀电位负移,腐蚀倾向加大,腐蚀介质的再钝化来不及修复破损的钝化膜,露出新鲜的活性金属表面,从而使磨痕内外构成腐蚀原电池,未钝化处为阳极,有保护膜的部位为阴极,组成腐蚀电池,其反应为:



由于金属组织结构的不均匀性,腐蚀破坏了材料的晶界或其他组织的完整性,降低了材料的结合强度,很容易使材料剥落而增加磨损量。在形成钝化膜的体系中,表面剪切力使钝化膜开裂、成片撕裂,从而产生脆性剥落,加速材料的流失。在这种情况下,由于材料不再是逐渐地被磨去,而是因腐蚀介质中材料本身或表面膜的脆化,使得材料成片地开裂和剥落,因此材料的磨损量成倍地增加^[7]。

3.3 磨粒磨损

腐蚀磨损发生后,塞子与阀体密封面存在大量腐蚀产物,由形貌观察可知塞子外表面存在与塞子运动方向一致的明亮划痕,这说明在塞子外表面还存在磨粒磨损。磨粒磨损是由外界硬质颗粒或硬表面的微峰在摩擦副对偶表面相对运动过程中引起表面擦伤与表面材料脱落的现象,其特征是在摩擦副对偶表面沿滑动方向形成划痕。塞子外表面颗粒状腐蚀物作为磨粒作用在材料表面,颗粒上承受的摩擦力载荷可分解为法

向分力和切向分力,在法向分力作用下,磨粒的棱角刺入材料表面,在切向分力作用下,磨粒沿平行于表面的方向滑动,带有锐利棱角并具有合适迎角的磨粒能切削材料而形成切屑。如果磨粒棱角不够锐利,或是刺入表面角度不适合切削,由于磨粒推挤材料,使之堆积在磨粒运动的前方或两侧,使材料表面产生犁沟变形。在磨损系统中,磨料颗粒的形状和硬度是决定磨料磨损机理的重要参量^[8]。塞子外表面存在的大量的硬度较高且较锋利的腐蚀颗粒物对塞子的磨损起了重大作用。

4 结论

(1) 阀门材质与设计规定不符,旋塞阀塞子所用材料抗腐蚀性能降低是导致旋塞阀泄漏的主要原因。而在旋塞阀塞子表面发生腐蚀磨损和磨粒磨损,使得塞子表面出现粗糙并减薄,这是旋塞阀泄漏的直接原因。

(2) 更换材质不符合规定的旋塞阀塞子材料,使用符合标准的高加工质量和热处理性能的旋塞阀。

(3) 必要时建议更换使用油密封式旋塞阀或压力平衡式倒锥密封旋塞阀;这两类阀在开启或关闭过程中对密封面有擦拭作用,可以除去固体颗粒,不致划伤密封面。同时,还应加强阀门的质量管理,确保产品质量合格的阀门应用于生产实际中。

参考文献

- [1] 王孝天,杨源泉,贺友宗. 不锈钢阀门的设计与制造[M]. 北京:原子能出版社,1987.
- [2] 机械工业部合肥通用机械研究所. 阀门[M]. 北京:机械工业出版社,1984.
- [3] 廖景娱. 金属构件失效分析[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [4] 纪贵. 世界标准钢号手册[M]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [5] 何天荣. 双相不锈钢及其特殊性能与应用[J]. 南方金属,2005,(1):1-3.
- [6] 陆培文. 旋塞阀的功能与应用[J]. 化工设备与管道,2001,38(2):52-55.
- [7] 王吉会,姜晓霞. 腐蚀磨损过程中材料的环境脆性[J]. 材料研究学报,2003,17(5):449-456.
- [8] K 哈比西. 材料的磨损与硬度[M]. 严立译. 北京:机械工业出版社,1987.

收稿日期:2007-04-20;修订日期:2008-01-30

作者简介:邱艳丽(1980-),女,硕士研究生,主要从事失效分析方面的研究.联系地址:上海杨浦区复旦大学材料科学系 杨振国 转(200433). E-mail: zgyang@fudan.edu.cn