

文章编号: 1002-5855(2021)05-0275-04

奥氏体不锈钢耐蚀强化技术在阀门行业的应用

陈志林¹, 曹 驰^{1,2}, 牟鑫斌¹, 陈冬武¹, 杨瑞成^{1,2}, 邱晓来³

(1. 兰州理工大学 温州泵阀工程研究院, 浙江 温州 325105; 2. 兰州理工大学 材料学院, 甘肃 兰州 730050;

3. 超达阀门集团股份有限公司, 浙江 温州 325105)

摘要 介绍了奥氏体不锈钢的材质特点, 通过辉光等离子体渗扩的方法对软密封球阀的球体和阀杆实施了耐蚀强化处理, 对其组织和性能进行了检测分析, 并模拟工况对球体和阀杆进行使用寿命测试。

关键词 奥氏体不锈钢 耐蚀强化 球阀 阀杆

中图分类号: TH134 文献标志码: A

DOI: 10.16630/j.cnki.1002-5855.2021.05.010

Application of Austenitic Stainless Steel Corrosion Resistance Strengthening Technology in Valve Industry

CHEN Zhi-lin¹, CAO Chi^{1,2}, MU Xin-bin¹, CHEN Dong-wu¹,YANG Rui-cheng^{1,2}, QIU Xiao-lai³

(1. Wenzhou Pump and Valve Engineering Research Institute of Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, Zhejiang, China;

2. Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China;

3. Chaoda Valves Group Co., Ltd., Wenzhou 325105, Zhejiang, China)

Abstract The material characteristics of austenitic stainless steel were introduced, and the corrosion resistance strengthening of the ball and valve stem of the soft seal ball valve was treated by glow plasma diffusion. The structure and performance of ball and valve stem were detected and analyzed, and the service life of ball and valve stem was tested by simulating working conditions.

Key words austenitic stainless steel corrosion resistance strengthening ball valve valve stem

1 概述

奥氏体不锈钢具有高耐蚀性、高塑性、良好的焊接性能、冷加工性能、低温韧性及无磁性等优点, 广泛应用于阀门行业^[1]。但奥氏体不锈钢的硬度低(160~250 HV), 耐磨性能和抗刮擦性能差^[2], 严重影响了不锈钢制机械零部件的使用寿命, 限制了其在工程领域的应用范围^[3]。在阀门行业, 奥氏体不锈钢硬度低导致低温环境下软密封阀门的阀芯磨损^[4], 不锈钢阀杆容易划伤、“咬死”甚至扭曲^[5]。为确保阀门在腐蚀工况下正常工作, 应在保证不锈钢耐蚀性的前提下提高其硬度和耐磨性。

奥氏体不锈钢在高温和室温下均具有奥氏体组织, 没有组织转变, 因此, 不能通过常规热处理来

强化^[6]。目前行业常用的表层处理技术都存在局限性, 常规渗氮会导致耐蚀性严重下降^[7], 喷涂喷焊工艺流程繁琐、成本高昂^[8], 电镀/化学镀污染较大^[9], 且镀层有剥落风险。

随着表面改性技术快速发展, 可以利用等离子体浸没离子注入(PIII)和射频(Rf)等离子体离子渗氮等^[10]技术对奥氏体不锈钢进行表面耐磨抗蚀强化。辉光等离子体渗扩技术具有设备简单、环保经济、渗速快等优点^[11], 适合批量生产。本研究采用辉光等离子体渗扩的方法对软密封球阀的球体和阀杆实施了耐蚀强化处理, 对其组织和性能进行了检测分析, 并模拟工况对球体和阀杆作了使用寿命测试。

基金项目 浙江省重点研发项目(2019C01090) 温州市基础科研项目(G20180005) 永嘉县工业科技研究开发项目(2016109)

作者简介 陈志林(1987-) 男, 工程师, 主要从事材料表层改性方面的研究。

2 试验方法

试验用的球体和阀杆材料为固溶状态的 AISI316L 奥氏体不锈钢,在离子渗扩炉中进行耐蚀强化处理,具体参数为加热温度 400 ℃、气压 80 Pa、时间 12 h。随机从处理后的球体上切取一块试样进行检测分析,采用 D8ADVANCE 型 X 射线衍射仪对不锈钢试样进行物相检测。金相试样用 Marbles 腐蚀剂浸蚀,然后在 AXIO Imager.M2m 蔡司显微镜下观察。在 MVC-1000JMT1 显微硬度计下测试试样的显微硬度,所用载荷为 50 g,保压时间为 15 s。耐蚀性分析采用上海辰华生产的 CHI600E 型电化学工作站进行 Tafel 极化曲线测试,试样作为工作电极,腐蚀介质为 3.5% 的 NaCl 溶液,温度为室温。盐雾试验在 BK-60 程式盐雾试验机中进行,NaCl 浓度为 5%,温度 35 ℃ 时间 96 h。圆度检测在思瑞 Function Plus 龙门式三坐标测量机上检测,工况模拟试验在自制阀门启闭循环寿命试验台上进行测试。

3 试验结果

3.1 耐蚀强化层的显微组织

奥氏体不锈钢耐蚀强化技术是在较低温度下将非金属元素渗入到具有面心立方晶体结构的晶格内部,造成晶格畸变,使不锈钢的表面形成一层极度过饱和的固溶体^[12]。图 1 为奥氏体不锈钢耐蚀强化处理后试样的金相显微组织,在腐蚀剂的作用下,316 L 不锈钢基体的晶粒边界已清晰显现,而表层则存在约 40 μm 的“白亮层”。“白亮层”并没有遭受明显腐蚀,说明耐蚀性要强于基体。图 2 为试样表层的 X 射线衍射图谱,与未处理的 316 L 试样相比,仅是奥氏体不锈钢的 $\gamma(111)$ 和 $\gamma(220)$ 晶面的衍射峰位向低角度偏移,渗层内无新相生成。

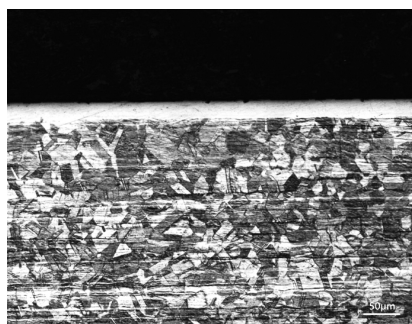


图 1 耐蚀强化处理试样的金相显微组织

3.2 耐蚀强化层的硬度

试样耐蚀强化处理后的表层显微硬度如图 3

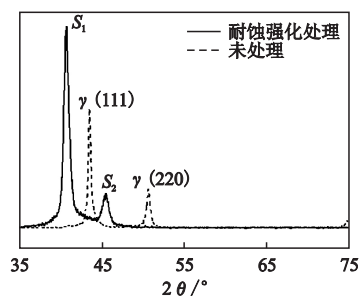


图 2 试样表层的 X 射线衍射图谱

所示,其最高硬度可达 1 200 HV_{0.05}。硬化层属于元素自表层向内渗扩,硬度也从表层开始向基体内部逐渐降低,在距表面约 40 μm 处回落到 300 HV_{0.05} 左右。极高的表面硬度和平缓的硬度梯度保证了耐蚀强化层具有良好的承载能力,能够应对中等负荷的工作环境。

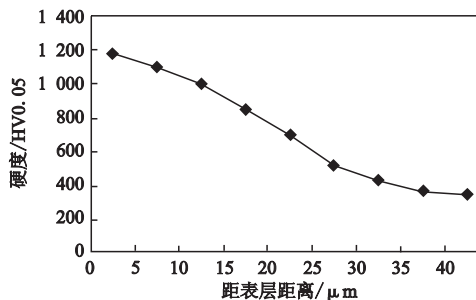


图 3 试样的表层显微硬度

3.3 耐蚀强化层的耐腐蚀性能

为了评判耐蚀性,分别对试样采取了盐雾试验和阳极极化曲线测试。盐雾试验简易直观,可为工程应用提供直接的参考,极化曲线测试可获得关于耐蚀性的高阶数据。图 4 显示了 DN50 的 316 L 球体经不同处理后的盐雾试验结果,耐蚀强化处理后的球体与未处理球体经 96 h 中性盐雾试验后未出现任何锈迹,而常规渗氮处理的球体发生大面积锈蚀。图 5 为 316 L 原始试样和耐蚀强化试样在电化学工作站测试得到的阳极极化曲线图。图中可以看出不锈钢试样经耐蚀强化处理后自腐蚀电位升高、自腐蚀电流降低,且有着更宽的钝化区。综合盐雾



图 4 不同处理后的球体盐雾试验结果

试验和阳极极化曲线测试的结果,耐蚀强化后的试样具有比原始试样更优异的耐蚀性能。

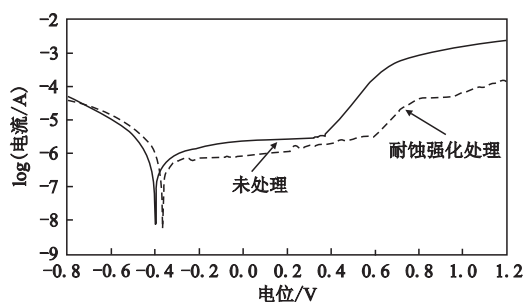


图5 试样的阳极极化曲线

3.4 耐蚀强化处理的变形量

分别测量了 DN25、DN50 和 DN80 球体在耐蚀强化处理前后的圆度,测量结果如表 1 所示。从表中可知,处理前后的圆度误差变化很小,其原因为耐蚀强化处理温度低($<450\text{ }^{\circ}\text{C}$),工件的变形量非常小,免去了处理后的二次加工。将耐蚀强化后的球体装入阀体,用 0.6 MPa 水压进行密封试验,未发现有任何泄漏。

表 1 球体在耐蚀强化处理前后的圆度对比

球体型号	DN25	DN50	DN80
处理前圆度误差/mm	0.0020	0.0045	0.0060
处理后圆度误差/mm	0.0030	0.0095	0.0090

4 工况模拟试验

4.1 试验设备

工况模拟试验在自制的阀门启闭循环寿命试验台上进行,试验台结构如图 6 所示。试验主要测试耐蚀强化处理对球体和阀杆磨损情况的影响。当测试对象为球体时,球体和阀座无润滑,通道内介质为空气。当测试对象为阀杆时,为了防止球体早于阀杆失效,将介质换成水,空气增压系统改为水增压系统进行试验。

4.2 球体工况模拟试验

耐蚀强化技术在软密封球阀上的应用可分为两种情形。

(1) 阀座为 PEEK 树脂类的高分子材料,常温下阀座硬度高于不锈钢球体。

(2) 阀座为聚四氟乙烯类材料,在超低温下服役,常温下阀座较软,球体可直接用奥氏体不锈钢。

在低温下高分子材料会变硬、变脆,此时球体将变得极易划伤。采用耐蚀强化技术处理了这两种类型的球体,并分别进行测试。

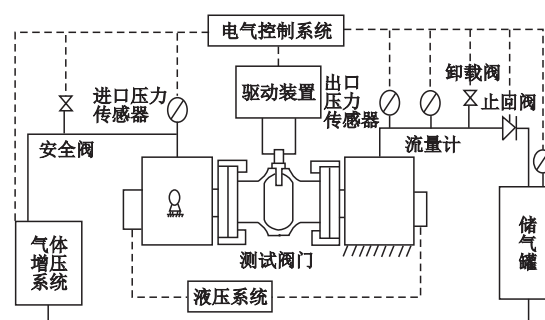
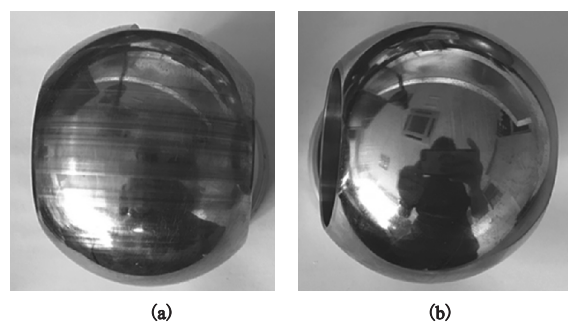


图6 阀门启闭循环寿命试验台

当阀座材质为 PEEK 时,试验参数和结果如表 2 所示。在 1.5 MPa 压差下,耐蚀强化处理的球体启闭 1 500 次,球面未见明显划痕。而未处理球体启闭 100 次即出现明显划痕,启闭 400 次划痕明显加重,启闭 1 500 次球面大面积划伤。耐蚀强化处理前后的球体在进行工况模拟试验 1 500 次后的对比情况如图 7 所示。

表 2 DN50 软密封球阀球芯寿命试验

球芯状态	阀座材质	压差/MPa	启闭周期/s	启闭次数	磨损情况
未处理	PEEK	1.5	15	1 500	严重磨损
耐蚀强化	PEEK	1.5	15	1 500	极轻微划痕



(a)未处理 (b)耐蚀强化处理

图7 球体磨损对比

当阀座材质为聚四氟乙烯时,在深冷槽中对低温软密封球阀进行测试。将球体与阀座配对装好后,将阀体浸入液氮,待温度降至 $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时开始循环启闭阀门。试验过程中阀门进口与出口无压差,启闭次数为 100 次。试验结果与图 7 相似,未处理的球体严重磨损,而耐蚀强化处理的球体几乎无划痕。

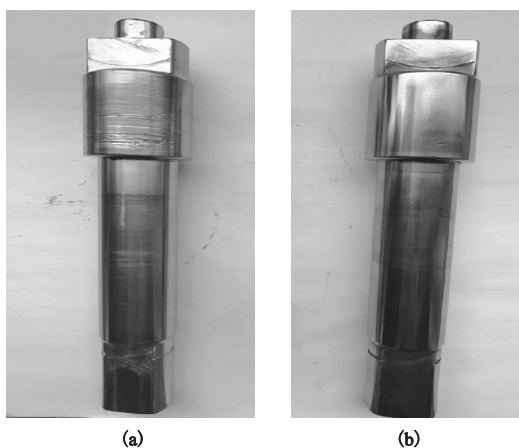
4.3 阀杆工况模拟试验

由于球阀的结构设置,奥氏体不锈钢制成的阀杆会在启闭过程中受力,同时又会接触到腐蚀介质,从而造成阀杆磨蚀、咬合。采用耐蚀强化技术对阀杆进行相应处理,从实际启闭试验来看,未处理

阀杆在开关 14 000 次后严重磨损,而处理后的阀杆仅有几道轻微划痕,耐磨性能得到显著改善。具体试验参数和结果如表 3 和图 8 所示。

表 3 DN50 硬密封固定球阀阀杆寿命试验

阀杆状态	介质	压差 /MPa	启闭周期 /s	启闭次数	备注
未处理	水	10	10	14 000	严重磨损
耐蚀强化	水	10	10	14 000	轻微划痕



(a)未处理 (b)耐蚀强化处理

图 8 阀杆磨损情况对比

5 结语

(1)奥氏体不锈钢耐蚀强化技术是在较低温度下将非金属元素渗入到晶体内部,可以在保持奥氏体不锈钢耐蚀性的情况下,强力提升其表层硬度,同时和基体呈冶金结合。

(2)耐蚀强化处理温度低($<450\text{ }^{\circ}\text{C}$),工件的变形量非常小,免去了处理后的二次加工。

(3)经耐蚀强化处理后的球体和阀杆,能大幅提高工件的耐磨性,增加阀门的使用寿命。

参 考 文 献

- [1] 陆培文.阀门设计手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 崔崑.钢的成分、组织与性能(下)[M].北京:科学出版社,2013.
- [3] Dong H.S-phase surface engineering of Fe-Cr,Co-Cr and Ni-Cr alloys[J].Metallurgical Reviews,2010,55(2):65-98.
- [4] 崔俊红.LNG用超低温球阀设计选型[J].化工设计,2018,28(2):33-37.
- [5] 金成波.金属密封球阀球体与阀杆接触部位的优化设计[J].阀门,2012(5):30-33.
- [6] 陆世英.不锈钢概论[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [7] Zhang Z L,Bell T.Structure and corrosion resistance of plasma nitrided stainless steel [J].Surface Engineering,1985,1(2):131-136.
- [8] 国洪建,贾均红,张振宇.热喷涂技术的研究进展及思考[J].材料导报A 综述篇,2013,27(2):38-40.
- [9] 伍超群,周克崧.热喷涂涂层与电镀层结构性能的研究[J].现代表面技术研究及应用,2005,9:54-55.
- [10] 王亮,许晓磊,许彬.奥氏体不锈钢低温渗氮层[J].摩擦学报,2000(20):67-69.
- [11] 齐宝森,王忠诚,李玉婕.化学热处理技术及应用实例[M].北京:化学工业出版社,2015.
- [12] 孙金全,崔洪芝,赫庆坤.不锈钢低温渗氮/渗碳S相渗层技术的研究进展[J].热处理技术与装备,2013,34(6):10-17.

(收稿日期:2020-04-22)