

doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.2015.05.006

低温氮化对 1Cr11 不锈钢耐双相流冲刷腐蚀性能的影响^{*}

潘东, 党理, 杨屹, 王均

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

摘要: 为研究低温盐浴氮化提升马氏体钢耐冲刷腐蚀的机理, 在 410、430 和 450 °C 不同温度下对 1Cr11 不锈钢盐浴氮化 8 h。通过光学显微镜, X 射线衍射分析仪(XRD), 显微硬度仪对渗氮层的渗氮层厚度、显微组织及显微硬度进行研究, 通过电化学工作站循环伏安法和双相流冲刷腐蚀模拟试验研究不锈钢耐蚀性。结果表明, 渗氮层包括化合物层和扩散层, 化合物层主要由 N 的过饱和固溶体 α_N 和含氮化合物 $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ 组成。渗氮层显微硬度约为基体硬度 3 倍; 循环伏安法表明渗氮层和基体在 NaCl 溶液中均发生钝化, 但渗氮层表面钝化膜在溶解后具有自我修复能力, 抗点蚀能力好。经过 120 h 的冲刷腐蚀模拟试验, 氮化样品质量损失速率远低于未处理试样的质量损失速率, 氮化可以有效提升试样的耐冲刷性能。

关键词: 不锈钢; 盐浴氮化; 冲刷腐蚀; 循环伏安法

中图分类号: TG174.44

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2015)05-0037-07

Effects of Low Temperature Nitriding Process on Erosion-Corrosion Resistance of 1Cr11 Stainless Steel

PAN Dong, DANG Li, YANG Yi, WANG Jun

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract: To study the mechanism of erosion corrosion resistance of martensitic stainless steel by low temperature bath nitriding. 1Cr11 stainless steel was nitrided in salt bath at 410, 430 and 450 °C for 8 h. The thickness, microstructure and microhardness of the nitrided case were detected through the optical microscope, XRD instrument and a micro-hardness tester. The corrosion resistance of stainless steel was tested through electrochemical workstation cyclic voltammetry (CV) and multiphase flow erosion corrosion simulation test. The results show that the nitrided case consists of a compound layer and a diffusion layer. The compound layer consists mainly of the solid solution of nitrogen (α_N) and nitrogen compound ($\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$). The microhardness of the nitrided case is about 3 times harder than that of the substrate. CV shows that the nitrided case and the substrate passivate in NaCl solution, however after dissolution, self-repairing ability and stronger pitting resistance are found in the passive film transformed from nitrided case. After erosion corrosion simulation test for 120 h, the nitrided sample mass loss rate is far slow than that of the untreated one, showing that the erosion corrosion resistance of 1Cr11 can be significantly improved by low temperature bath nitriding.

Keywords: stainless steel; salt bath nitriding; erosion-corrosion; cyclic voltammetry

0 引言

1Cr11Ni2W2MoV 马氏体不锈钢^[1] (以下简称 1Cr11) 韧性好、强度高, 具有良好的综合力学

性能, 在淡水和湿空气等氧化性介质中具有较好的耐腐蚀能力, 但该钢种作为汽轮机叶片、核反应堆构件等零部件时需要更高的抗磨损和抗

收稿日期: 2015-03-26; **修回日期:** 2015-07-09; **基金项目:** * 国家自然科学基金(51471112)

通讯作者: 王均(1976-), 男(汉), 副教授, 博士; **研究方向:** 金属腐蚀与防护; **Tel:** 138 8064 3313; **E-mail:** srwangjun@163.com

网络出版日期: 2015-09-09 15:30; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20150909.1530.012.html>

引文格式: 潘东, 党理, 杨屹, 等. 低温氮化对 1Cr11 不锈钢耐双相流冲刷腐蚀性能的影响[J]. 中国表面工程, 2015, 28(5): 37-43.
Pan D, Dang L, Yang Y, et al. Effects of low temperature nitriding process on erosion-corrosion resistance of 1Cr11 stainless steel [J]. China Surface Engineering, 2015, 28(5): 37-43.

腐蚀能力。采用氮化处理来提高马氏体不锈钢的耐磨性与耐蚀性是较为理想的办法。常规的氮化处理温度过高,不仅使不锈钢渗氮层内析出大量 Cr 的氮化物,造成耐蚀性下降^[2],还会使心部马氏体高温回火软化,造成钢件整体力学性能下降^[3]。

盐浴法氮化具有设备和工艺简单、场温均匀、处理周期短、污染小、适用范围广等优点,更容易实现工业化生产,对于结构复杂的构件更具有实际应用前景^[4]。低温盐浴氮化工艺作为常规氮化工艺的重要发展。Runbo Huang 研究^[5]指出,低温盐浴氮化能显著提升 2205 双相不锈钢耐冲刷腐蚀性能;Yuanhua Lin^[6]研究指出,低温盐浴氮化能在 321 奥氏体不锈钢表面形成耐蚀层。近年来,盐浴渗氮工艺作为越来越环境友好型的一种表面改性技术,Li^[7]认为盐浴渗氮技术可以作为高效清洁的提升材料耐蚀性能的一项表面技术。Wang Jun^[8]对 17-4PH 进行盐浴渗氮,发现盐浴渗氮能提升马氏体不锈钢的表面硬度,认为氮化物的析出是硬度提升的主要原因。

为了改善马氏体不锈钢的表面耐蚀性和耐磨性的同时避免高温处理导致的“表层贫铬”和心部软化,对 1Cr11 进行低温盐浴氮化处理,考察 1Cr11 渗氮层的表面硬度、电化学性能和耐冲刷腐蚀性能,从显微组织、基本力学和腐蚀性能着手研究低温渗氮层在双相流冲刷腐蚀过程中的强化机理。

1 材料与方 法

试验基体材料是淬火回火态 1Cr11 马氏体不锈钢,钢的调质处理为 1 000~1 020 ℃ 高温下完全奥氏体化后淬火,并在 600~710 ℃ 回火。钢的化学成分如表 1。将 1Cr11 加工成 30 mm×20 mm×2 mm 片状样品,表面去污清洗后,采用四川大学自主研发的低温氮化用盐^[9]进行盐浴氮化。

盐浴氮化基盐主要成分为 K、Na 的氰酸盐和碳酸盐,二者均为无毒、环境友好的普通化学材料,取代了传统盐浴渗氮盐的剧毒氰化物,相比气体氮化更简洁安全。在渗氮盐熔融基础上,为避免氮化温度超过碳氮化物的临界析出温度导致渗氮层中出现大量 CrN,造成基体“贫铬”,故选择氮化温度分别为 410、430 和 450 ℃,时间为 8 h。

用 Dmax-1400 型 X 射线衍射仪检测氮化前后表层物相;用 HV-1000 型显微硬度计测量表面显微硬度值,加载力为 0.1 N 保载时间 10 s;在 CS350 型电化学工作站用循环伏安极化法测定材料的循环极化曲线(腐蚀介质为:3.5% NaCl 溶液,扫描范围-1.3~0.5 V,扫描速率 5 mV/s);用自制的旋转式固液双相冲刷系统进行冲刷腐蚀试验,试验中腐蚀介质:3.5% NaCl 溶液和 100 g/L 刚玉砂;转速 500 r/min;攻角 90°,用扫描电子显微镜(SEM)观察样品冲刷腐蚀形貌。

表 1 1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢化学成分

Table 1 Chemical composition of the 1Cr11Ni2W2MoV stainless steel

(w/%)

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	S	P
Content	0.10-0.16	≤0.60	≤0.60	10.5-12.0	1.40-1.80	1.50-2.00	0.35-0.50	0.18-0.3	≤0.020	≤0.03

2 结果与分析

2.1 渗氮层形貌及物相

图 1 是 1Cr11 氮化样品截面显微形貌,图 2 是渗氮层厚度与氮化温度变化的关系。氮化后,在板条状马氏体基体表面形成一层白亮的化合物层,化合物层的厚度随着氮化温度的升高而增加。这是因为氮化温度升高时,盐浴中活性[N]的浓度以及[N]与样品表面的扩散系数都增加,[N]扩散进入表面的通量也随着增加。

结合 X 射线衍射图谱(图 3)可知,渗氮层主要由 α_N 和 $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ 相组成。未氮化样品为马氏体基体的 $\alpha\text{-Fe}$,在 410 ℃ 氮化后出现 N 的过饱和固溶体 α_N 和 N 的化合物 Fe_3N ;430 和 450 ℃ 氮化样品出现 Fe_2N 和 Fe_3N 相。根据 Fick 定律,影响[N]在 1Cr11 表面扩散通量主要由浓度梯度决定,较高温度氮化时,活性[N]的浓度高,进入样品表面的 N 原子也较多。

这主要是因为:N 从含 N 盐根中离化,吸附到试样表面,再进行扩散的过程中。离化需要跨

越一定的化学势垒,吸附需要活性 N 的分子运动大。在势垒不变的情况下,提高渗氮温度会导致有更多的活性 N 从盐中离化出来,同时也提高了活性 N 的分子运动速度。

由 X 射线结果,N 进入样品后首先形成固溶体 α_N ,当 N 的间隙固溶体过饱和时,更多的 N 将

会与 Fe 形成化合物 Fe_3N 和 Fe_2N 。在 450 °C 样品 X 衍射图谱中,亚稳态的 α_N 分解为 $\alpha-Fe$ 和 N。分解产生的 N 和表面扩散的 N 一部分向基体深处扩散继续形成过饱和固溶体 α_N ;一部分生成铁氮化物 $Fe_{2-3}N$;其余少量会与基体中 Cr 形成 CrN 。

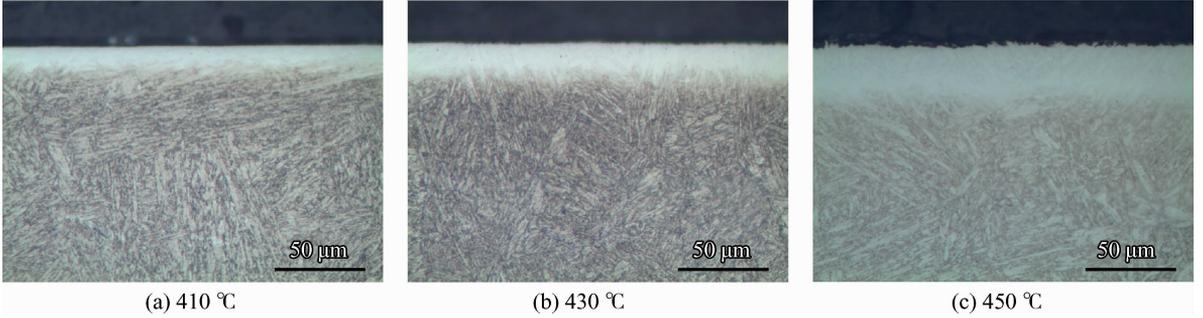


图 1 不同温度下氮化样品截面显微组织

Fig. 1 Cross section microstructure of the nitrided samples under different temperature

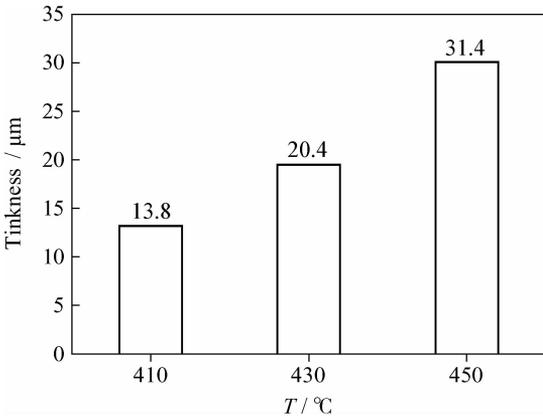


图 2 渗氮层厚度随渗氮温度的变化

Fig. 2 Thickness of the nitrided layers as a function of processing temperature

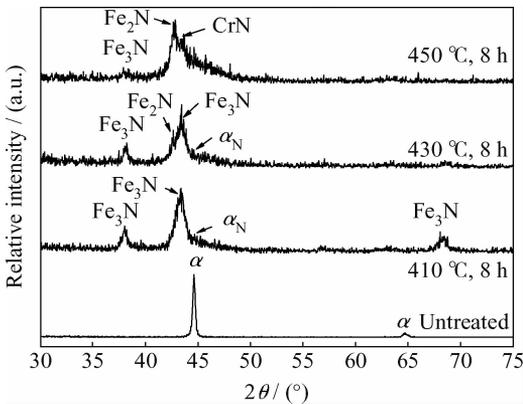


图 3 未处理样品和低温氮化样品的表面 X 射线图谱

Fig. 3 XRD patterns of the untreated and nitrided samples

2.2 渗氮层硬度

用显微硬度仪对氮化样品截面显微硬度进行测量,结果如图 4 所示。从渗氮层到基体,显微硬度值迅速降低,然后下降趋势逐渐平缓并最终接近 1Cr11 基体硬度值。450 °C 氮化样品最外层硬度最高,达 1 426.8 $HV_{0.1}$,约为基体硬度的 4 倍,430 °C 样品与 410 °C 样品显微硬度较低,但仍为基体硬度 3 倍以上。可见氮化对 1Cr11 表面硬度提升非常显著。渗氮层硬度高,主要原因是渗氮层存在 $\epsilon-Fe_{2-3}N$ 相和 N 的过饱和固溶体。渗氮层外侧为 $\epsilon-Fe_{2-3}N$ 相为密排六方的晶体结构,组织致密,硬度很高。渗氮层内侧是含氮饱和固溶体, $[N]$ 进入马氏体间隙使马氏体产生

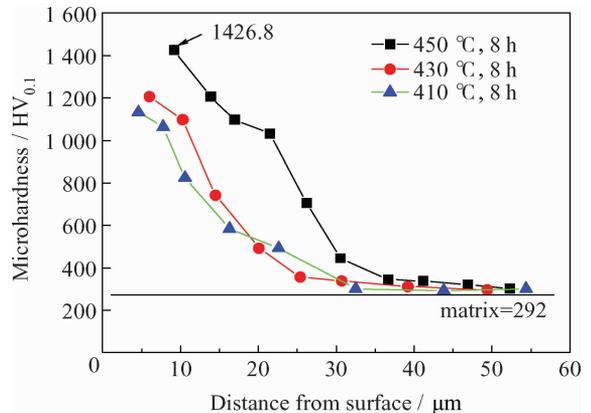


图 4 渗氮层显微硬度与渗层深度关系

Fig. 4 Microhardness of the nitrided layers as a function of depth from surface

严重的晶格畸变,位错密度增加^[10-11]。同时氮原子容易在位错拉应力区偏聚,产生钉扎位错,形成极好的固溶强化作用^[12],使该区硬度得以大幅度提升。另外,W、Mo、V等中强氮化物形成元素易与氮原子结合形成质地坚硬、细小而稳定的氮化物(VN、W₂N等),并均匀弥散分布于晶粒边界,可形成弥散强化效果^[13]。

2.3 电化学腐蚀过程

图5为未处理样品和氮化样品的循环伏安极化曲线,极化曲线中的临界钝化电位 E_c 、击破电位 E_b 和保护电位 E_p 记录于表2。在循环伏安极化过程中,不锈钢在临界钝化电位时发生钝化产生钝化膜;当电位升高,钝化膜在击破电位时失效,钝化区间可以用击破电位与钝化电位差值表征;

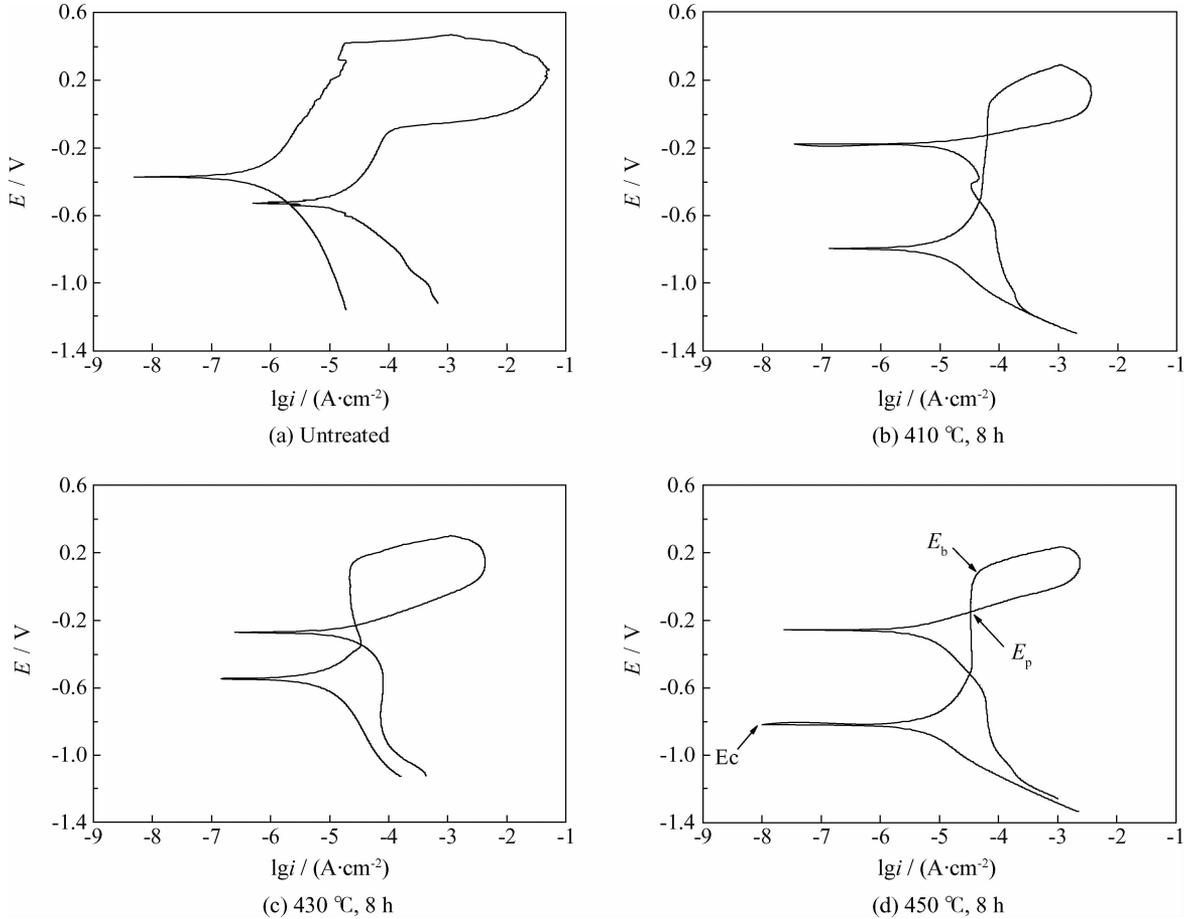


图5 未处理样品和氮化样品的循环伏安极化曲线

Fig. 5 Polarization curves of the untreated and nitrided samples by cyclic voltammetry

表2 循环极化伏安法测得样品的临界钝化电位(E_c)、击破电位(E_b)和保护点位(E_p)

Table 2 Critical passivation potential (E_c), broken potential (E_b) and the protection potential (E_p) of samples by cyclic voltammetry (V)

Samples	E_c	E_b	E_p
untreated	-0.373	0.411	Inexistence
410 °C × 8 h	-0.821	0.257	-0.132
430 °C × 8 h	-0.549	0.300	-0.232
450 °C × 8 h	-0.828	0.234	-0.149

而保护电位是在循环回扫时曲线与钝化区间的交点电位,保护电位反映了在特定腐蚀条件下材料钝化膜的自修复能力。未处理样品钝化电位较高,钝化膜区间较好,说明马氏体不锈钢在PH=7介质中有一定耐蚀性,但是未处理样品在钝化膜失效后不存在保护电位,钝化膜没有自修复能力,一旦钝化膜溶解,未处理样品将被严重腐蚀。相比而言,不同温度的氮化样品 E_c 较低,但钝化膜区间更宽,并且回扫曲线存在保护点位 E_p ,说明氮化样品钝化膜具有自修复能力,有效阻止 Cl^- 与基体发生点蚀,起到很好的保护作用,因此

在 3.5%NaCl 中耐蚀性非常好。氮化样品在循环伏安法中耐蚀性相近。430 °C 氮化样品的钝化电位 E_p 较高, 保护电位 E_p 较低, 整体耐蚀性更好。

2.4 固液双相冲刷腐蚀试验

图 6 为未处理样品和氮化样品进行 120 h 冲刷腐蚀模拟实验样品质量损失速率与冲刷时间关系。在试验过程中, 氮化样品质量损失速率一直维持在未氮化样品速率的约 10 倍, 说明经过氮化后样品的耐冲刷腐蚀性能得到极大提高。由氮化样品之间对比可知, 410 °C 氮化样品质量损失大于 430 °C 和 450 °C 样品, 整个实验氮化样品质量损失速率稳定维持在 $6 \text{ mg} \cdot 24 \text{ h}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$ 以内, 说明渗氮层在整个冲刷过程中一直发挥保护作用。值得注意的是未处理样品的质量损失速率存在先减少后增加的趋势, 在 48 h 处出现拐点, 表明基体耐蚀性在腐蚀过程中有“先增后降”的特点。这是因为基体在腐蚀初期形成钝化膜, 腐蚀较慢; 而后钝化膜逐渐溶解, 暴露出的基体与未溶解的钝化膜形成微原电池, 使得腐蚀速率又逐渐升高。

图 7 和 8 分别为经冲刷腐蚀试验 120 h 后

430 °C 氮化样品和未处理样品的表面及截面形貌。由图 7 可知, 未氮化样品的冲刷面形貌粗糙, 冲刷作用明显, 冲刷面上出现较多的冲击坑以及其周围分布着厚大的唇片和向里发展的点蚀深坑; 而 430 °C 氮化样品冲刷面较为平整, 没有明显的冲击坑, 出现的唇片少, 凹陷也较少, 表现出良好的耐冲刷腐蚀性能。

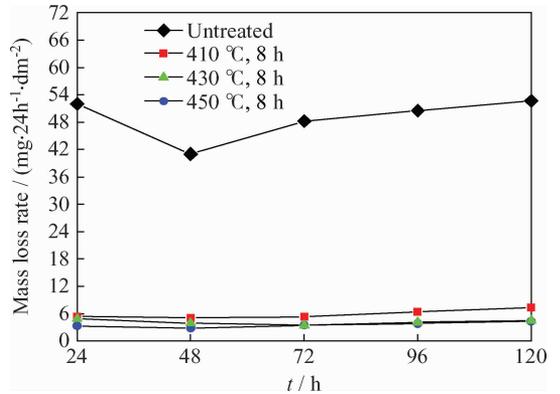
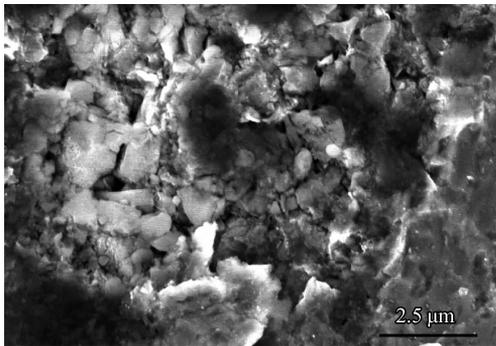
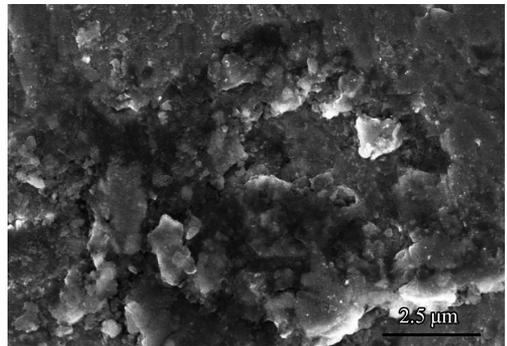


图 6 未处理样品和氮化样品的质量损失速率与冲刷时间关系

Fig. 6 Mass loss rate of untreated and the nitrided sample as a function of processing time



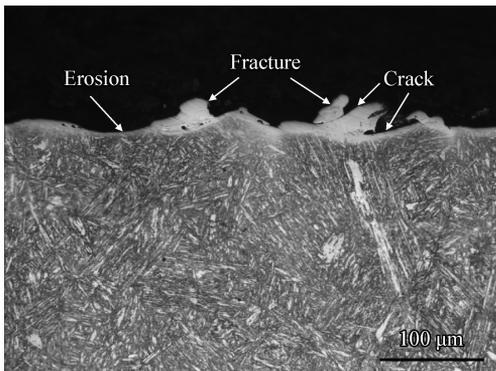
(a) Untreated



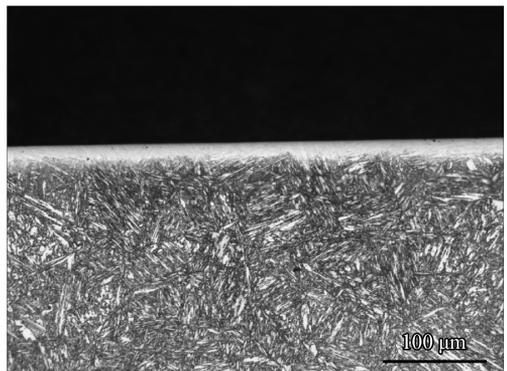
(b) 430 °C, 8 h

图 7 冲刷腐蚀后未处理和氮化样品的表面形貌

Fig. 7 Surface morphologies of the untreated and nitrided samples after erosion corrosion



(a) Untreated



(b) 430 °C, 8 h

图 8 冲刷腐蚀后未处理和氮化样品的截面形貌

Fig. 8 Cross section images (OM) of the untreated and nitrided sampels after erosion corrosion

对比图 8, 氮化样品仅发生较小的冲蚀减薄, 仍能有效保护基体; 未处理样品则有明显破损, 卷边, 冲蚀坑等缺陷。对比可知, 基体在冲刷腐蚀过程中产生的表面破坏, 点蚀坑数量和深度都远大于氮化样品的表面。

2.5 渗氮层在双相流冲刷腐蚀的作用

固液双相流冲刷腐蚀中机械剪切力破坏和电化学腐蚀作用两者为相辅相成的关系。机械剪切力能破坏样品表面, 产生局部破裂, 为产生腐蚀原电池以及点蚀提供诱因, 并且在腐蚀发生后能加速腐蚀产物剥落使得电化学腐蚀往更深处发展; 同时电化学腐蚀能改变材料表面组成, 降低材料表面硬度和疲劳强度, 导致材料表面机械破损更严重。

忽略介质的腐蚀作用, 材料的冲蚀磨损率与硬度关系表示为^[14]:

$$\epsilon = k \left(\frac{H_p}{H_t} \right)^n \quad (1)$$

式中, ϵ 为材料的冲蚀磨损率; H_t 、 H_p 分别为材料和磨粒的硬度, HV; k 、 n 为常数, 随冲蚀条件改变而改变。可见, 材料仅受到冲刷作用时, 材料表层的硬度决定了其冲蚀磨损率。

低温盐浴氮化后能在样品表面形成渗氮层, 渗氮层硬度达 1Cr11 基体的 4 倍, 极大增加样品表面抗磨粒冲击能力。双相流冲刷过程中, 渗氮层中的 ϵ -Fe₂₋₃N 相硬度高, 能降低刚玉沙对不锈钢基体的多冲疲劳破坏; 同时 [N] 的过饱和固溶在渗氮层中引入高的压缩应力, 能部分抵消砂粒的初始动能, 减弱砂粒对材料表面的冲击作用。

由不锈钢耐点蚀能力当量指数 (PREW) 和合金元素含量的数学关系式^[15]:

$$\text{PREW} = w_{\text{Cr}} + 3.3 \times (w_{\text{Mo}} + 0.5w_{\text{W}}) \% + 16 \times w_{\text{N}} \quad (2)$$

可知, 固溶态氮原子对不锈钢的抗点蚀性能贡献显著。1Cr11 通过低温盐浴氮化处理, 除了能够得到本身具有高耐腐蚀性的 ϵ -Fe₂₋₃N 相外, 还得到过饱和固溶体 α_{N} , 因而其抗点蚀性能可以得到明显改善。在在双相流冲蚀过程中, 介质中的 Cl⁻ 会在表面诱发阳极反应产生蚀坑, 初期腐蚀产物在冲刷力作用下很快脱落, 暴露出内部基体, 与周围钝化膜局部形成“大阴极小阳极”的腐蚀电池, 产生更严重的点蚀破坏 (图 7(a))。渗氮

层氮化样品与未氮化样品都能在中性 Cl⁻ 介质中形成有效的钝化膜, 但是渗氮层钝化膜在被点蚀破坏后能自我修复, 因此氮化样品在腐蚀介质中的耐蚀性优于未氮化样品。

冲刷腐蚀是冲刷和腐蚀的交互作用结果, 两者对材料冲蚀面具有协同破坏作用^[16]。低温盐浴氮化能提高材料表面硬度和抗点蚀能力, 减少两者协同作用, 使 1Cr11 的耐双相流冲刷腐蚀性能大幅提高。

3 结论

(1) 低温盐浴氮化处理后, 渗氮层表层物相主要由 N 的过饱和固溶体 α_{N} 和 ϵ -Fe₂₋₃N 相构成。410 °C 含少量 α_{N} 和 Fe₃N, 430 和 450 °C 主要表层主要为 Fe₃N 和 Fe₂N, 450 °C 渗氮层有少量 CrN 析出。

(2) 低温盐浴氮化处理后, 渗氮层的显微硬度最高达 1 426.8 HV_{0.1}, 表面硬度大幅增加。不同氮化温度表面显微硬度都在基体硬度 3 倍以上, 沿基体方向缓慢下降。

(3) 低温盐浴氮化处理后, 样品在循环伏极化中表现出基体不具有的钝化膜的自修复能力, 抗点蚀性能得到明显改善。

(4) 氮化后, 1Cr11 在冲刷过程中的质量损失速率明显减小。冲刷腐蚀过程的机械剪切力和点腐蚀对氮化层的破坏都小于二者对基体的破坏, 两者协同作用也大大减弱, 氮化后的 1Cr11 的耐冲刷腐蚀性能大幅提高。

参考文献

- [1] 黄春峰. 1Cr11Ni2W2MoV 钢叶片的热加工工艺与力学性能 [J]. 锻压技术, 1999, 24(1): 13-15.
Huang C F. Heat working technology and mechanical properties of 1Cr11Ni₂W₂MoV steel for blade [J]. Forging & Stamping Technology, 1999, 24(1): 13-15 (in Chinese).
- [2] Wang J, Lin Y, Fan H, et al. Effects of temperature on microstructure and wear of salt bath nitrided 17-4PH stainless steel [J]. Journal of materials engineering and performance, 2012, 21(8): 1708-13.
- [3] 尹业平, 雷旻. GDL-1 钢渗碳后液体软氮化工艺的初步探索 [J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2010, 25(2): 110-113.
Yin Y P, Lei M. Liquid soft nitriding process to GDL 1 carburized steel [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2010, 25(2): 110-113 (in Chinese).

- [4] Wang J, Lin Y, Li M, et al. Effects of the treating time on microstructure and erosion corrosion behavior of salt-bath-nitrided 17-4PH stainless steel [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2013, 44(4): 1010-6.
- [5] Huang R, Wang J, Zhong S, et al. Surface modification of 2205 duplex stainless steel by low temperature salt bath nitrocarburizing at 430 °C [J]. Applied Surface Science, 2013, 271: 93-97.
- [6] Wang J, Lin Y H, Yan J, et al. Influence of time on the microstructure of AISI 321 austenitic stainless steel in salt bath nitriding [J]. Surface & Coatings Technology, 2012, 206(15): 3399-404.
- [7] Li H Y, Luo D F, Yeung C F, et al. Microstructural studies of QPQ complex salt bath heat-treated steels [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 69: 45-49.
- [8] Wang J, Lin Y H, Zeng D Z et al. Effects of the process parameters on the microstructure and properties of nitrided 17-4PH stainless steel [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2013, 22(2): 414-422.
- [9] 王均, 熊计, 范洪远. 一种用于不锈钢低温盐浴渗氮的氮化盐 [P]. 中国: CN 102220553-A. 2011-07-04.
Wang J, Xiong J, Fan H Y. A low temperature salt bath nitriding salt for stainless steel [P]. China: CN 102220553-A, 2011-07-04 (in Chinese).
- [10] Kim S K, Yoo J S, Priest J M, et al. Characteristics of martensitic stainless steel nitrided in a low-pressure RF plasma [J]. Surface & Coatings Technology, 2003, 163: 380-385.
- [11] Bell T, Sun Y. Low temperature plasma nitriding and carburisation of austenitic stainless steel [C]. Japan: Stainless Stell, 2000: 275-278.
- [12] Winck L B, Ferreira J L A, Araujo J A, et al. Surface nitriding influence on the fatigue life behavior of ASTM A743 steel type CA6NM [J]. Surface & Coatings Technology, 2013, 232: 844-850.
- [13] Jacquet P, Coudert J B, Lourdin P. How different steel grades react to a salt bath nitrocarburizing and post-oxidation process: influence of alloying elements [J]. Surface & Coatings Technology, 2011, 205(16): 4064-7.
- [14] 杨成虎. 不同热处理工艺下 Cr12 钢的冲蚀磨损性能及机理的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2012.
Yang C H. The research on erosion wear performance and mechanism of Cr12 steel in different heat treatment process [D]. Jinan: Shan Dong University, 2012 (in Chinese).
- [15] 黄嘉琥, 付逸芳. 耐点蚀当量 (PRE) 与压力容器用超级不锈钢 [J]. 压力容器, 2013, 30(4): 41-50.
Huang J H, Fu Y F. Pitting resistance equivalent (PRE) and super stainless steel for pressure vessels [J]. Pressure Vessel Technology, 2013, 30(4): 41-50 (in Chinese).
- [16] 奚运涛, 刘道新, 韩栋, 等. 低温离子渗氮提高 2Cr13 不锈钢的冲蚀磨损与冲刷腐蚀抗力 [J]. 材料工程, 2008 (11): 76-81.
Xi Y T, Liu D X, Han D, et al. Improvement of erosion and erosion-corrosion resistance of 2Cr13 stainless steel by low temperature plasma nitriding [J]. 2008 (11): 76-81 (in Chinese).

(责任编辑: 陈茜)

• 学术动态 •

2015 北京数字化增材制造技术论坛将于北京召开

为深入了解国内外增材制造技术和产业发展的现状,共同探讨增材制造技术面临的新机遇和新挑战以及最新发展趋势,为北京市科学决策和基金重点部署提供参考,商讨未来我市增材制造产业的发展方向和发展战略,促进我市高端制造业转型升级、提升核心竞争力,推动增材制造的技术创新、持续发展以及广泛应用。由北京市自然科学基金委员会主办,装甲兵工程学院承办的“2015 北京数字化增材制造技术论坛”将于 2015 年 11 月 26-27 日在北京召开,会议主题为增材制造技术。

会议主要议题包括:增材制造的新原理、新工艺;增材制造装备与材料;金属零件直接增材制造;增材制造技术在典型行业中的应用;模具增材制造;微纳结构增材制造;生物制造;三维测量;3D 打印骨科应用;数据处理与软件等。会议将由国内外增材制造技术领域相关高校、国家重点实验室、制造企业共同参与。同时,组委会将邀请相关企业、行业主管领导、海内外同行、广大用户和专业技术人员光临论坛,并在会场根据展商的要求为展商提供展台和产品推介。

会议优秀论文将推荐到《中国表面工程》期刊发表。参会回执和论文请于 2015 年 11 月 10 日前发到 zgychenwei@sina.com。联系人: 陈威 136 9338 0477、孟凡军 133 9166 0669、苏宏艺 134 2644 9113、李宁一 130 5158 6761。

(陈威 供稿)