

1Cr18Ni9 等离子体注渗氮层的组织及性能分析

孙 跃^a, 林 秀^a, 江少群^b, 赫晓东^a

(哈尔滨工业大学 a.复合材料与结构研究所; b.材料科学系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 研究了等离子体注渗氮的温度和注渗电压对 1Cr18Ni9 奥氏体不锈钢注渗层组织结构、纳米硬度及腐蚀性能的影响规律。结果表明: 注渗后表层晶粒细化, 表层新相主要有非晶, γ_N 相, 氮化物相 ((Fe, Cr, Ni)₂N_{1-x}和(Fe, Cr)₂N_{1-x}) 及 α 相。注入电压 10 kV, 450 °C 可生成非晶, 390~420 °C 生成氮化物相, 330~360 °C 无新相生成。注渗层纳米硬度值升高 1.3~4.9 倍, 并与注渗温度保持单调关系。表层有非晶或 γ_N 相生成的试样表现出优越的耐腐蚀性能, 没有新相生成的试样耐蚀性变差。

关键词: 等离子体注渗氮; 1Cr18Ni9 奥氏体不锈钢; 组织结构; 纳米硬度; 腐蚀性能

中图分类号: TG156.82

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)05-0005-07

Microstructure and Properties of Ion Implanted and Nitrided Layer of 1Cr18Ni9 Steel

SUN Yue^a, LIN Xiu^a, JIANG Shao-qun^b, HE Xiao-dong^a

(a.Center for Composite Materials; b.Department of Materials Science, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001 China)

Abstract: The effects of technological parameters such as temperature and voltage on the microstructure, nanohardness and corrosion performance of 1Cr18Ni9 austenitic stainless steel treated by plasma based ion implanting and nitriding technique were investigated. It was found that, the grains in the surface layer were finer after treatment. The microstructure consisted primarily of amorphous phase, expanded austenitic phase, α -phase and nitride phases such as (Fe,Cr,Ni)₂N_{1-x} and (Fe,Cr)₂N_{1-x}. The amorphous phase was formed when the sample was treated at an applied voltage of 10 kV and at a relatively high temperature of 450 °C. While the nitrides were formed at moderate temperature ranging from 390 °C to 420 °C. No new phase was detected at relatively low temperatures ranging from 330 °C to 360 °C. The nanohardness of the implanted layers increased from 1.3 times to 4.9 times comparing with the untreated specimen. It showed a monotonic relationship with the treating temperature. Those samples with amorphous layer or expanded austenitic phase exhibited superior corrosion-resistant performance compared those without new phases.

Key words: implanting and nitriding; 1Cr18Ni9 steel; microstructure; nanohardness; corrosion performance

0 引 言

由于 1Cr18Ni9 型不锈钢优异的耐腐蚀性质, 而被广泛地应用于各工程领域, 尤其在诸如化工、食品机械等行业。然而, 大量的工程应用表明, 对于同时要求具有耐腐蚀和一定抗磨性的一类摩擦副零件, 或特殊的反应釜或高流速管路, 直接采用此型号的不锈钢不能满足使用需求。近年来在表面改性研究领域所进行的相应研究即是针对这个应用需求展开的^[1,2]。

等离子体注渗^[3], 亦称升温等离子体基离子注入 (elevated temperature plasma based ion implantation),

即在较高温度下, 进行等离子体基离子注入, 注入离子借助热扩散作用, 可获得显著增加注入层深度 (提高 2~3 个数量级) 的效果。等离子体注渗氮在合适温度下利用辐照损伤, 热扩散共同作用得到较厚的注渗层, 耐磨性较好, 但腐蚀性能可能变差。只有在合适的工艺参数下, 当表面获得诸如非晶相、 γ_N 相等, 腐蚀性能才会得到改善。可以预见, 当获得表面非晶层时, 对提高在 Cl⁻ 离子环境下的抗晶间腐蚀将具有重要作用。文中旨在探求改善 1Cr18Ni9 钢的硬度和耐磨性, 同时并不会牺牲耐蚀性, 甚至可以提高耐蚀性的表面改性工艺方法。

试验在哈尔滨工业大学自行研制的 DLZ-01 等离子体基离子注入装置上进行, 对 1Cr18Ni9 奥氏体

收稿日期: 2005-05-23; 修回日期: 2005-09-16

作者简介: 孙跃(1958-), 男(汉), 哈尔滨市人, 副教授, 硕士。

不锈钢进行不同工艺参数的等离子体注渗氮工艺试验,并研究了工艺参数对注渗层组织结构、纳米硬度和腐蚀性能的影响规律。

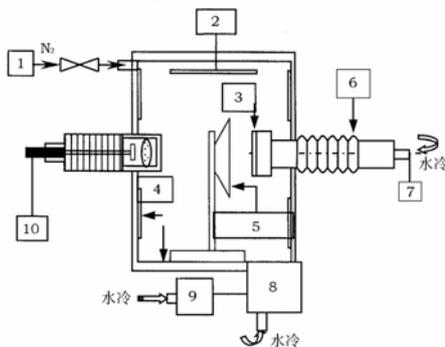
1 试验材料与方法

1.1 材料

试验材料选用装饰用厚度为 0.6 mm 的 1Cr18Ni9 奥氏体不锈钢板,表面粗糙度 $Ra=0.1075$,试样加工成 $\phi 14$ 的圆片。材料标准化学成分为 ($w/\%$): $w(C) \leq 0.15$, $w(Si) \leq 1.00$, $w(Mn) \leq 2.00$, $w(P) \leq 0.035$, $w(S) \leq 0.030$, $w(Ni) = 8.00 \sim 10.00$, $w(Cr) 17.00 \sim 19.00$ 。

1.2 工艺试验

图 1 为注渗装置结构示意图。此设备主要技术指标为:真空室尺寸 700 mm×700 mm×1 000 mm;极限真空度 2.5×10^{-4} Pa;高压脉冲电源 10~100 kV, 35 A;脉冲重复频率 41~1 500 Hz;脉冲宽度 10~100 μs ;射频电源 0~2 000 W;供气系统包括 4 路气体质量流量计。



1—质量流量计 2—射频电源 3—试样 4—磁屏蔽板 5—辐射加热器
6—样品台及可调散热功率电极 7—脉冲高压电源 8—涡轮分子泵
9—机械泵 10—红外测温仪

图 1 DLZ-01 型全方位等离子体基离子注入设备示意图

Fig.1 DLZ-01 PBI facility

试样注渗工艺过程为:将清洗过的试样安装在真空室内的水冷工作台上;抽背底真空至 $< 5 \times 10^{-3}$ Pa;通入高纯氮气(99.99%),在 0.1 Pa 气压下施加射频功率 500 W,加 -2 kV 直流偏压对试样进行氩离子溅射清洗 5 min;开启高压脉冲电源和辅助加热源进行离子轰击及辐射加热,使试样升温至工艺设计温度;关闭氩气,再次抽背底真空至 $< 5 \times 10^{-3}$ Pa。通入纯度 99.99% 的氮气,气体流量为 1.125×10^{-6}

kg/s,工作气压为 0.22 Pa。随后按设计工艺参数进行不同注渗电压、注渗温度的工艺过程。注渗过程持续 4 h。工艺参数见表 1。

表 1 1Cr18Ni9 等离子体注渗氮工艺参数

Table 1 Technological parameters of implanting and nitriding on 1Cr18Ni9

工艺 编号	注渗电 压/kV	注渗温 度/°C	脉宽/ μs	频率/ Hz
1033	10	330	63	893
1036	10	360	73	1 500
1039	10	390	60	1 430
1042	10	420	68	1 800
1045	10	450	65	1 870
1542	15	420	42	1 600
2542	25	420	40	560
3542	35	420	80	420

1.3 分析测试方法

(1) 金相分析

在 1:10 草酸溶液中电解腐蚀 2~2.5 min,腐蚀参数:腐蚀电压 5 V,电流密度 $0.4 A/cm^2$, $5 cm^2$ 黄铜片作阴极,溶液温度 < 40 °C。用 Olympus 光学显微镜做注渗层横截面显微组织分析。

(2) 透射电子显微镜分析

用 600 型离子刻蚀机对未注入面进行单面离子减薄,刻蚀参数:电压 6 kV,电流 0.5 mA,氩离子入射角 15° 。透射电镜型号 PHILIPS-CM12,加速电压 120 kV,相机常数 770 mm。

(3) X 射线衍射分析

使用 PHILIPS X-Pert 型 X 射线衍射仪,利用小掠入射角 X 射线衍射技术(GXRD)进行注渗氮层的相组成分析,掠入射角分别选用 1° 和 5° 。测试条件为: $CuK\alpha$ X 射线源,管压 40 kV,管流 40 mA,采用阶梯扫描模式,步长 0.02° ,每步 0.4 s。

(4) 纳米硬度

利用 Nano Indenter XP 型机械性能显微探针(Mechanical Properties Microprobe)测量了试样注渗层纳米硬度随压入深度的变化。金刚石压头总的压入深度为 3000 nm,压头位移精度为 4 nm,载荷精度为 0.1 nN,水平位移精度 $0.5 \mu m/inc$ 。

(5) 电化学腐蚀试验

采用 M273 型恒电位仪,用标准三极法连接电

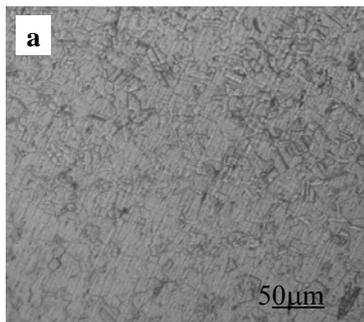
极。试样浸入 3%NaCl 溶液中稳定 30 min 后, 扫描速度 0.5 mV/s, 步长 0.1 mV, 扫描范围 -250~500 mV, 利用 352 Soft Corr III 分析软件进行数据处理并绘制出 Tafel 曲线。

测试结束后, 立刻取出试样, 用蒸馏水、酒精冲洗, 吹干。用 Olympus 光学显微镜观察腐蚀表面形貌。

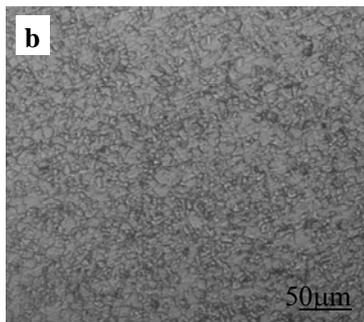
2 结果与讨论

2.1 注渗层显微组织特征

图 2 为原始样和注渗试样表面显微组织照片。从图中可以看出此注渗工艺有一定程度的细化晶粒作用。通常, 常规离子注入表面同样可以获得这类特征的金相组织, 而借助扩散作用的注渗过程, 这种细化晶粒的效果也可以发生在距表面更深处^[4]。其作用机制与常规离子注入类似, 也应该是热峰作用为主要因素。



(a) 原始样



(b) 10 kV/390 °C 注渗样

图 2 原始样与注渗样的表面显微组织

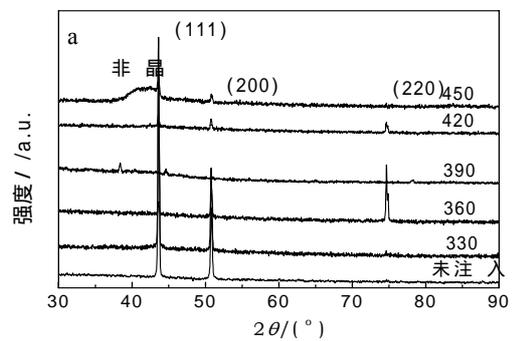
Fig.2 Surface microstructure of original and implanted specimen (a)original (b)treated at 10 kV/390 °C

2.2 注渗层的结构

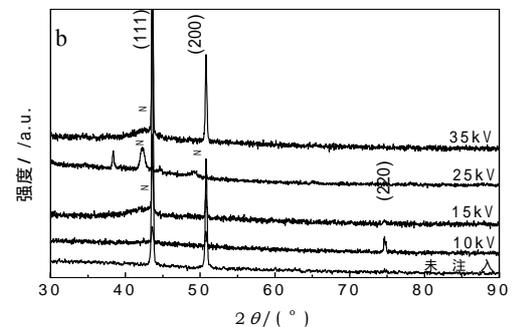
采用小掠入射角 X 射线衍射 (GXR D) 测定了注

渗层的相结构。X 射线掠入射角度分别为 1° 和 5°, 按 X 射线在此钢中的衰减计算, 最大检测深度分别为 79.98 nm、399.44 nm。

图 3(a) 是注渗电压 10 kV, 掠入射角为 5° 的不同温度注渗氮试样的 X 射线衍射谱线。由图可见: 基体衍射峰为单相奥氏体 γ 相峰; 注渗温度为 390 °C 时, 出现 ϵ 相和 α 相衍射峰; 注渗温度 450 °C 时, 出现严重宽化的馒头状衍射峰, 表明存在非晶组织。随注渗温度升高, γ 相 (111) 峰强度先降低, 再升高, 且各峰的强度比也有明显的变化。可见不同温度注渗层内不仅相含量不同, 织构取向也存在差异。



(a) 10 kV/不同温度



(b) 420 °C/不同电压

图 3 掠入射角 5° 注渗层 GXR D 谱线

Fig.3 GXR D spectrum of modified layer treated at (a) 10 kV /various temperatures, (b) 420 °C/ various voltages, using a glancing angle of 5°

图 4 为 10 kV/420 °C 注渗试样在掠入射角分别为 1° 和 5° 时的 GXR D 谱线。可以看出掠入射角由 1° 增加到 5° 后, γ_N 和 $(Fe, Cr)_2N_{1-x}$ 相消失。此类新相仅在近表层生成。

可见, 同一注渗电压下, 当注渗温度不同时, 注渗层相结构也不同^[5]。

图3(b)是注渗温度420 °C, 掠入射角5°的不同电压注渗氮试样的X射线衍射谱线。由X射线分析结果可以看出: 温度一定时, 随注渗电压变化, 注渗层中相类型及相含量均发生了变化。① 在10 kV时没有出现新相; ② 15 kV时, 出现了 γ_N 衍射峰, 但峰强较弱; ③ 25 kV时, γ_N 衍射峰有所增强。在分析深度范围内注渗层中相组成以 $\varepsilon+\alpha+\gamma$ 为主, 即氮主要以氮化物的形式存在。这可能是由于提高负脉冲偏压可增加缺陷浓度与促进扩散, 还可以提高氮在 γ 相中的固溶度; ④ 电压增至35 kV时, α 、 ε 相衍射峰消失, γ (111) 衍射峰左侧出现了宽化的衍射峰, 这是由于氮的溶入, 导致 γ 晶格产生畸变, 即形成了 γ_N 相^[6]。但 γ_N 衍射峰峰强较弱, 可能由于 γ_N 相生成量较少或在注渗层中较浅深度处形成。氮主要以固溶形式存在。这可能是由于一方面注渗电压增高, 使溅射增强从而加剧了氮的外扩散, 另一方面 γ 相的溶氮能力增强。可见, 当注渗温度为420 °C时, γ_N 相的形成需要一个合适的电压。高压注渗促进氮的结合和晶格膨胀, 有利于热扩散和氮在基体中的保留剂量, 但由于这也促进了氮的外扩散, 所以注渗层厚度与注渗电压无单调对应关系。

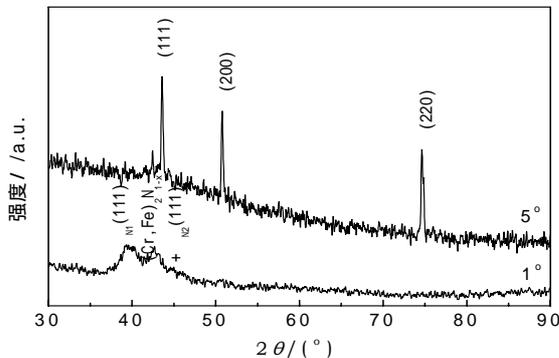


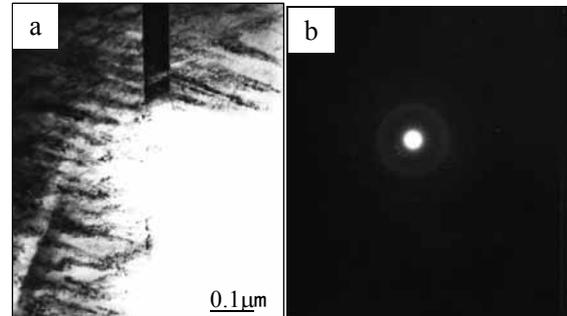
图4 10 kV/420°C注渗层在掠入射角分别为1°和5°时的GXR D谱线

Fig.4 GXR D spectrum of modified layer treated at 10 kV/420 °C, with glancing angle of 1°and 5°respectively

图5为450 °C/10 kV样品的TEM分析结果。参照图3, 可见相应的XRD衍射峰宽化是由于生成了非晶相^[7]。

通过以上分析可知, 注渗温度和注渗电压均是影响注渗层的相结构及注渗层不同深度处相含量的

重要因素, 从而也就进一步影响表面的性能。但是注渗电压和温度对相及其含量的影响并非简单的单调关系。

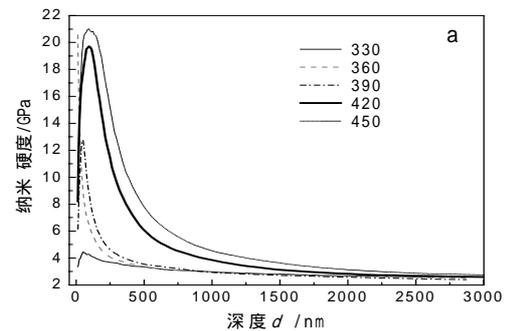


(a) 衍衬像 (b) 透射斑

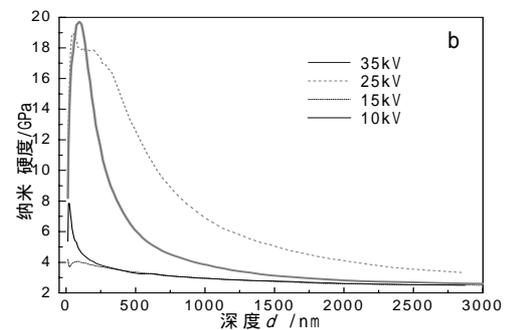
图5 10 kV/450 °C试样的透射电子衍衬像和透射斑
Fig.5 TEM micrographs of specimen treated at 10 kV/450 °C

2.3 注渗层纳米硬度

图6(a)为10 kV不同注渗温度的试样表面纳米



(a) 10 kV/不同温度



(b) 420 °C/不同电压

图6 注渗试样表面纳米硬度随压入深度的变化
Fig.6 Variation of surface nanohardness with indenting depth (a) 10 kV / various temperatures; (b) 420 °C/ various voltages

硬度随压入深度的变化曲线。可以看到, 注渗试样表面纳米硬度有一个较宽的峰。在距表面 500 nm 深度范围内, 注渗试样的纳米硬度值随注渗温度升高而增大 1.3~3.1 倍。注渗温度为 450 °C 时, 硬度峰距表面 97.27 nm, 纳米硬度值达到 21 Gpa, 是基体硬度的 8.3 倍。依据图 5 分析可知这是由于形成了非晶层。注渗温度为 420 °C 时, 硬度峰距表面 112.95 nm, 其值也达到了 19.5 GPa, 相分析表明注渗层中有 γ'_N 相生成, 可知 γ'_N 相的形成有利于提高注渗层的纳米硬度^[8]。

图 6(b) 为 420 °C 不同注渗电压下注渗层表面纳米硬度-深度的变化曲线。注渗试样的表面纳米硬度均有提高。在距表面 500 nm 的深度范围内, 各试样的纳米硬度与基体相比提高了 1.3~4.9 倍。随注渗电压增大, 峰值硬度及峰位深度非单调变化。其中, 注渗电压为 10 kV 和 25 kV 时, 注渗层表面的纳米硬度值均显著升高, 最高值分别达到 19.5 GPa、18.94 GPa, 而且 25 kV 时的硬度峰较 10 kV 时的硬度峰宽, 纳米硬度值下降也比 10 kV 时缓慢。

2.4 注渗层的腐蚀性能

图 7 为未注入和注入试样的 Tafel 曲线测试结果。从图中可以看出: 1Cr18Ni9 钢注渗氮试样的耐蚀性在很大程度上取决于注渗工艺参数, 适宜的工艺参数有利于提高耐腐蚀性能, 而处理不当会使耐蚀性能恶化。

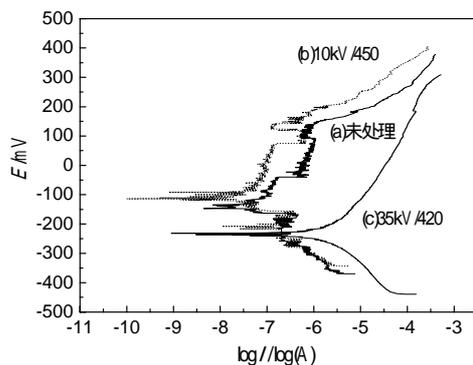


图 7 Tafel 曲线测试结果 (a) 原始样; (b) 10 kV/450 °C; (c) 35 kV/420 °C

Fig.7 Tafel curves for (a)original specimen; (b)specimen treated at 10 kV/450 °C; (c)specimen treated at 35 kV/420 °C

图 8(a) 所示的腐蚀电流随注渗温度的变化规律。由图可知: 当注渗电压为 10 kV, 注渗温度为 450 °C 时, 腐蚀电流最小, 为 3.98×10^{-5} mA/cm²。由透射电镜分析可知, 注渗层表层生成了一层非晶, 显著提高了耐蚀性; 分析表明, 其它试样耐蚀性能的改善是由于注渗可使钝化膜的稳定性和致密性提高, 并因此导致点蚀电位和保护电位增加^[9,10]; 而耐蚀性能恶化是由于生成新相如 γ'_{Ni} 和 γ'_{Ni2} , 增加了表面微电池的数目, 或由注渗时产生的物理损伤如位错、空位以及晶格畸变所致。

图 8(b) 为腐蚀电流随注渗电压的变化规律。从图中可以看出如下规律: 注渗温度为 420 °C, 注渗电压在 10 kV~35 kV 内变化时, 当注渗电压为 15 kV 时, 腐蚀电流最小, 耐蚀性最好; 注渗电压为 25 kV 时, 试样耐蚀性稍好于未注渗试样; 注渗电压为 10 kV 和 35 kV 时, 腐蚀电流均高于未注渗试样, 其中 35 kV 注渗试样腐蚀电流最大, 为 $10^{-2.6}$ mA/cm², 耐蚀性最差。9 种试样自腐蚀电流排序为: 15 kV/420 °C < 10 kV/450 °C < 10 kV/390 °C < 25 kV/420 °C < 未注入 < 10 kV/420 °C < 35 kV/420 °C < 10 kV/360 °C < 10 kV/330 °C。

图 9 为各组试样的自腐蚀电位。从图中可以看出: 15 kV/420 °C, 10 kV/450 °C, 10kV/390 °C 3 个试样的自腐蚀电位比原始试样高, 发生腐蚀的趋势小。在图 8(a) 和 (b) 中这 3 个工艺注渗的试样腐蚀电流比原始试样小。因此可以认为, 这 3 个工艺注渗的试样耐蚀性改善了。10 kV/420 °C 注渗试样自腐蚀电位最高, 但实际腐蚀速度比原始样还大。

图 10 为各组试样在 3 %NaCl 溶液中浸泡 30 min, 测量 Tafel 曲线后, 用 Olympus 光学显微镜观察的腐蚀表面形貌。从图中可以看出: 原始试样表面分布着很多麻点; 10 kV/420 °C 注渗试样表面麻点扩大为腐蚀坑; 10 kV/360 °C 注渗试样表面腐蚀坑连成片状; 10 kV/330 °C 注渗试样表面腐蚀坑加深且腐蚀面积增大, 是所测 10 组试样中腐蚀最严重的; 25 kV/420 °C 注渗试样表面麻点比原始样稍少一些; 10 kV/450 °C 注渗试样表面只有几个小麻点, 腐蚀程度最轻。这与腐蚀电流测试结果相吻合。

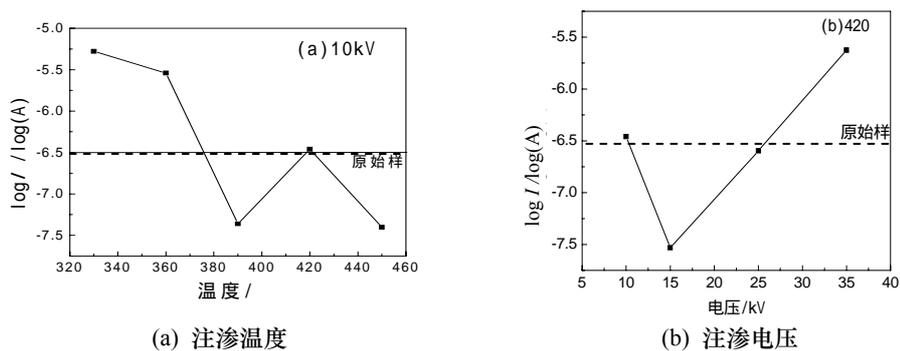


图 8 腐蚀电流与注渗温度、注渗电压的关系

Fig.8 Relation between corrosion current and processing parameters such as (a) temperature, and (b) voltage

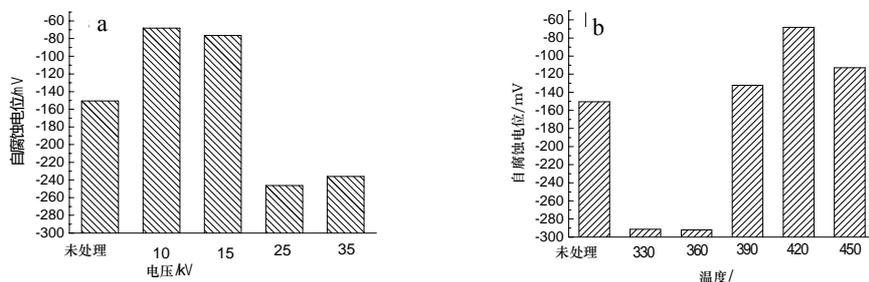


图 9 各组试样的自腐蚀电位 (a) 420 °C/不同电压 (b) 10 kV/不同温度

Fig.9 Self-corrosion potential of specimens treated at (a) 420 °C/ various voltages (b) 10 kV/ various temperatures

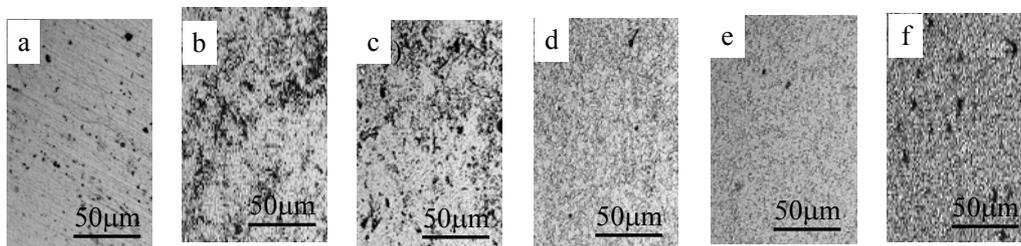


图 10 不同工艺注渗氮试样腐蚀表面形貌 (a) 未注入; (b) 10 kV/330 °C; (c) 10 kV/360 °C; (d) 10 kV/420 °C; (e) 10 kV/450 °C; (f) 25 kV/420 °C

Fig.10 Corroded surface morphologies of specimens (a) untreated;(b)treated at 10 kV/330 °C;(c) treated at 10 kV/360 °C;(d) treated at 10 kV/420 °C;(e) treated at 10 kV/450 °C;(f) treated at 25 kV/420 °C

3 结论

(1) 1Cr18Ni9 奥氏体不锈钢进行等离子体注渗氮后, 表面晶粒细化; 不同工艺条件相组成不同, 10 kV/450 °C 形成非晶; 10 kV/390 °C 和 25 kV/420 °C 形成 ϵ 相; 15~35 kV/420 °C 形成 γ_N 相。

(2) 注渗电压为 10 kV 时, 试样表面纳米硬度随注渗温度单调增加; 注渗温度为 420 °C 时, 试样表面纳米硬度随注渗电压呈波动状态。在距表面 500 nm 处, 25 kV/420 °C 纳米硬度值最高, 为 12.44 GPa,

比未注入试样提高了近 4 倍。

(3) 注渗电压为 10 kV 时, 腐蚀电流与注渗温度不存在单调关系; 注渗温度为 420 °C 时, 腐蚀电流随注渗温度先减后增, 最小值为 15 kV/420 °C 时的 3.16×10^{-8} mA/cm², 比未注入试样腐蚀电流降低一个数量级。

参考文献:

[1] Edoardo Proverbio, Lucio Maria Bonaccorsi. Erosion-

- corrosion of a stainless steel distillation column in food industry [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2002 (9): 613-620.
- [2] Jen Fin Lin, Kuan Wei Chen, Chin Chung Wei, et al. The effects of differing nitrogen implantation conditions on penetration depth, mechanical properties, and tribological behavior of plasma-nitrided AISI304 stainless steel [J]. *Surface & Coating Technology*, 2005, 197 (1): 28-38.
- [3] 孙跃, 董学军, 夏立芳. N 等离子体基注渗方法研究 [J]. *真空*, 2003 (3): 33-36.
- [4] X Li M Samand, D Dunne, et al. Cross-sectional transmission electron microscopy characterization of plasma immersion ion implanted austenitic stainless steel. *Surface and coatings Technology* [J]. 1996, 85 (1-2): 28-36.
- [5] 白彬, 张鹏程, 邹觉生. 00Cr17Ni14Mo2 不锈钢高温氮离子注入层的氮分布和组织 [J]. *中国表面工程*, 2000,13(3): 21-24.
- [6] Tian X B, Zeng Z M, Zhang T, et al. Medium-temperature plasma immersion ion implantation of austenitic stainless steel [J]. *Thin Solid Films*, 2000, 366 (1-2):150-154.
- [7] 范雄. 金属 X 射线学 [M]. 机械工业出版社, 1988: 170.
- [8] Blawert C, Kalvelage H, Mordike B L, et al. Nitrogen and carbon expanded austenite produced by PI^3 [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2001, 136(1-3): 181- 187.
- [9] 袁志钟, 戴起勋, 程晓农. 氮在奥氏体不锈钢中的作用 [J]. *江苏大学学报*, 2002,23(3):74.
- [10] 郎宇平, 康喜范. 超级高氮奥氏体不锈钢的耐腐蚀性能及氮的影响 [J]. *钢铁研究学报*, 2001, 13(1): 30- 35.
- [10] 徐滨士, 马世宁, 朱胜, 等. 军用纳米表面工程 [C]. 总装科技委 2002 年年会论文集: 182-188.
- [11] 欧忠文, 徐滨士, 马世宁, 等. 磨损部件自修复原理与纳米润滑材料的自修复设计构思 [J]. *表面技术*, 2001, 30(6):47-53.
- [12] 王汝霖, 润滑剂摩擦化学 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1994.
- [13] 郭志光, 顾丽卡, 赵源. 纳米润滑技术的进展 [J]. *新材料产业*, 2003,4:67-70
- [14] 莫易敏. 磨损自补偿理论研究及其在重载丝杆螺母上的应用 [D]. 机械科学研究院博士论文, 1995:2-3.
- [15] 姜秉新, 陈波水, 董浚修. 铜型添加剂摩擦修复作用的可行性研究 [J]. *机械科学与技术*, 1999,18(3): 445-447.
- [16] 刘维民. 纳米颗粒及其在润滑油脂中的应用 [J]. *摩擦学学报*, 2003,23(4):265-267.
- [17] 徐滨士, 纳米表面工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [18] 徐滨士, 欧忠文, 马世宁. 纳米表面工程基本问题及其进展 [J]. *中国表面工程*, 2001, 14(3):6-12.
- [19] 向庆华, 欧忠文, 丁培道, 等. 基于油润滑条件下的纳米单元表面优化作用机理 [J]. *重庆大学学报*, 2003, (26):7.

作者地址: 北京丰台区长辛店杜家坎 21 号 100072

装备再制造技术国防科技重点实验室

Tel: (010) 66718874 E-mail: llttqq@sina.com

• 本刊讯 •

《中国表面工程》第一届理事会第二次会议将于 11 月在重庆召开

为进一步研讨《中国表面工程》杂志更好地为企业节能增效服务, 为推进表面工程技术市场化, 为建设节约型社会和更好地发挥杂志在企业与社会之间的纽带、桥梁作用, 定于 2005 年 11 月 5~8 日在重庆召开的中国机械工程学会年会和表面工程技术研究进展及应用研讨会开会期间, 召开《中国表面工程》第一届理事会第二次会议, 会期半天。希望各理事积极参加中国机械工程学会年会和各专题的交流活动, 并于 11 月 7 日 14 时准时出席一届二次理事会议。

理事会联系人: 路凤芝 电话: 010-66718873
手机: 13681518005

作者地址: 哈尔滨市哈尔滨工业大学 150001

复合材料与结构研究所 E-mail: ghs.hit@tom.com

Tel: (0451) 86402440 13199577281

•••••

(上接第 4 页)

- composites subjected to low velocity impact [J]. *Smart Mater. Struct.* 1999 8:623-628.
- [8] 徐滨士, 张伟, 刘世参, 等. 现代装备智能自修复技术 [J]. *中国表面工程*, 2004,17(1):1-4.
- [9] 徐滨士, 梁秀兵, 马世宁, 等. 实用纳米表面技术 [J]. *中国表面工程*, 2001,14(3):13-17.

