

42CrMo 钢表面纳米化对离子渗氮的影响

李 杨, 徐久军, 王 亮

(大连海事大学 材料科学与工程系, 辽宁 大连 116026)

摘 要: 用表面机械研磨处理 (SMAT) 对 42CrMo 钢进行表面纳米化处理。对 SMAT 处理前后的样品进行离子氮化处理。通过扫描电镜、金相显微镜、X 射线衍射和显微硬度计对渗氮处理后样品的结构和性能进行了表征。结果表明: 在相同的氮化条件下, 特别在低温下, 经 SMAT 处理后的 42CrMo 钢可以得到化合物层更厚、硬度更高的氮化层。

关键词: 离子渗氮; 42CrMo 钢; 纳米材料; 表面机械研磨处理

中图分类号: TG156.8

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)03-0060-04

Plasma Nitriding of 42CrMo Steel with a Nanostructured Surface Layer Induced by Surface Mechanical Attrition Treatment

LI Yang, Xu Jiu-Jun, WAN Liang

(Department of Materials Science and Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026)

Abstract: A plastic deformation surface layer with nanocrystalline grains was produced on 42CrMo steel by means of surface mechanical attrition treatment (SMAT). Plasma nitriding of SMAT and coarse-grained 42CrMo steel was carried out by a low-frequency pulse (40 kHz) excited plasma unit. A series of nitriding experiments has been conducted at temperatures ranging from 430 to 500°C for 8 h in gas composition of NH_3 . The effect of SMAT pretreatment on the microstructure and properties of the 42CrMo steel was investigated using X-ray diffraction, scanning electron microscopy and Vickers micro-hardness tester. The results showed that a much thicker compound layer with higher hardness was obtained for the SMAT samples when compared with coarse-grained samples after nitriding at the low temperature.

Key words: plasma nitriding; 42CrMo steel; nanocrystalline materials; surface mechanical attrition treatment

0 引 言

金属材料的失稳(比如磨损, 腐蚀, 疲劳等)多发生在材料表面, 若在材料的表面制备出一定厚度的表面改性层, 可以提高材料的表面的性能。表面纳米化不仅可以提高材料的表面性能, 还可以提高材料的综合性能及环境服役行为^[1-3]。目前研究较多的材料表面纳米化的方法是表面机械研磨处理 (SMAT), 在外加载荷的重复作用下, 材料表面的粗晶组织通过不同方向产生的强烈塑性变形而逐渐细化至纳米量级^[4-7]。在金属材料的表面获得纳米晶组织, 且纳米结构层与基体之间没有明显的界面。另外, 表面纳米化也使材料表面的化学性能发

生了变化, 表面附近区域高体积分数的晶界为原子扩散提供了理想的通道, 有助于大幅度地提高材料表面化学元素的渗入浓度和深度。SMAT技术作为金属材料渗氮加工的预处理, 能够明显降低渗氮温度, 缩短渗氮时间, 同时提供渗氮效果^[8,9]。

文中将SMAT技术与离子渗氮相结合, 在纳米结构表层形成后, 对材料进行离子渗氮处理, 研究表面纳米化预处理对离子渗氮行为的影响。

1 试验方法

1.1 试验材料

材料为42CrMo钢, 化学成分(质量分数, %)为 0.38~0.43 C; 0.15~0.35 Si; 0.15~0.25 Mo; 0.75~1.00 Mn; 0.80~1.10 Cr。试样经线切割加工成15 mm×15 mm×5 mm, 用砂纸从粗到细将表面磨平并抛光。

收稿日期: 2010-04-27; 修回日期: 2010-05-04

作者简介: 李杨(1983—), 男(汉), 山东章丘人, 博士生。

1.2 试样制备

采用SMAT方法对试样进行表面纳米化处理, 具体工艺参见文献[4]。将SMAT处理前后的样品同时放入渗氮炉内, 炉内抽真空约到10 Pa后, 充入纯氮气并维持工作气压500 Pa左右。试验温度430 ℃和500 ℃, 渗氮时间为8 h。样品随炉冷却。

1.3 分析测试

用扫描电镜和金相显微镜观察试样的截面组织形貌; 用X射线衍射分析仪测定渗层的结构, CuK α (波长为0.15406 nm), 电压为40.0 kV, 电流30.0 mA, 扫描范围为20~100°, 扫描步长为0.02°; 用MH-6型显微硬度计测量表面硬度; 电化学测试过程选用标准的三电极体系: 试样为工作电极(WE)、铂片为辅助电极(AE)、饱和甘汞电极(SCE)为参比电极(RE)。腐蚀介质3.5 % NaCl溶液, 动电位极化曲线测试扫描速度为0.1 mV/s。

2 结果与讨论

2.1 SMAT 样品的组织结构

图1为SMAT处理前后试样的X射线衍射谱。图中可得, 经SMAT处理后, 与bcc结构Fe的(110), (200)和(211)晶面对应的3个衍射峰的强度降低、峰宽增加。这是由于微观应变增加和晶粒细化所致。其中(110)晶面衍射峰明显宽化, 根据Scherrer-Wilson方程计算得其表面平均晶粒尺寸约为23.2 nm。

图2为SMAT处理后样品截面的金相组织, 可以看出样品表面附近发生了强烈塑性变形。同时SMAT处理样品表面层的显微硬度明显增大, 表面纳米层的显微硬度约为心部基体硬度的两倍。

2.2 氮化层的结构

图3是SMAT处理和原始试样离子渗氮后的X射线衍射图谱。在430 ℃下, 两者的表面渗氮层含

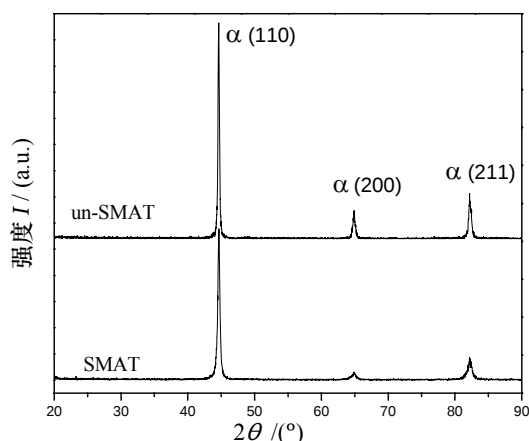


图1 试样在表面机械研磨处理前后的X射线衍射谱
Fig.1 X-ray diffraction profiles of the before and after SMAT treatment

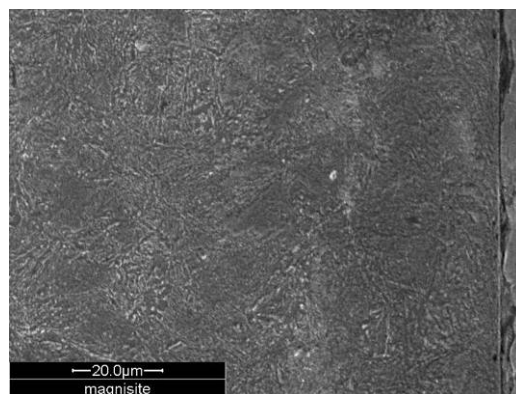


图2 SMAT处理后样品截面的SEM照片
Fig.2 SEM cross-sections images of the SMAT 4140 sample

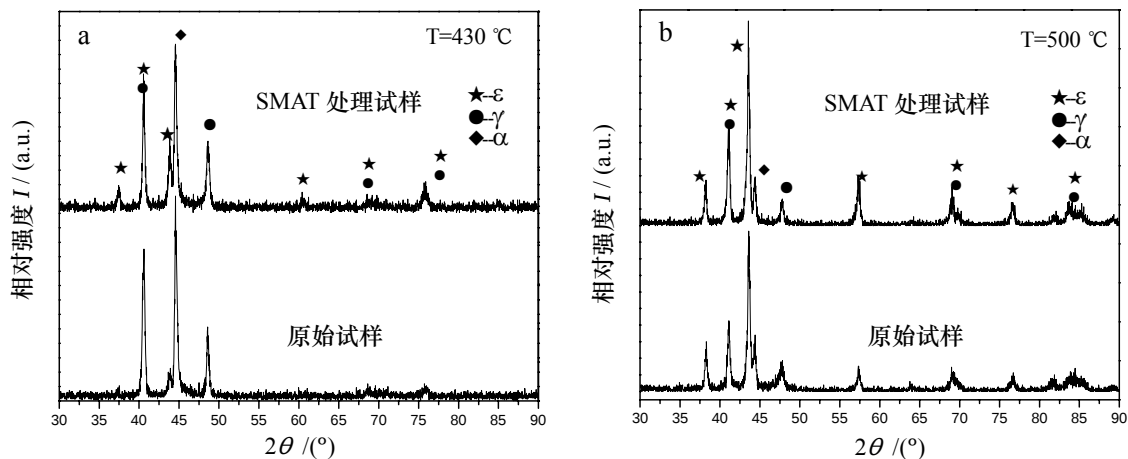


图3 SMAT处理和原始试样在渗氮后表面X射线衍射图谱
Fig.3 X-ray patterns of the plasma nitrided SMAT and original samples

有相和 γ' -Fe₄N相。SMAT样品渗氮后含有的 ζ -Fe₂₋₃N高于原始样品。随着温度的升高, α 相不断减少, ζ -Fe₂₋₃N相和 γ' -Fe₄N相不断增加。在500℃下,两者渗氮层物相均以 ζ -Fe₂₋₃N相和 γ' -Fe₄N相为主,没有明显不同。

2.3 氮化层的金相组织

图4是SMAT处理和原始试样经430℃和500℃渗氮8h的金相照片。在430℃下,原始试样渗氮后,在表面形成一层很薄(约2.5 μm)白亮层(如图4(a));SMAT处理试样渗氮后,在表面形成连续的约6.0 μm厚的白亮层(如图4(b))。随着温度升高,两者的白亮层都不变厚。但经SMAT处理后的试样白亮层明显厚于未经SMAT处理试样。在较高温500℃下,两者的白亮层厚度基本一致(如图4(c)和(d))。

2.4 氮化层硬度分析

经SMAT处理样品渗氮后表面表面硬度值均达到920 HV_{0.05},几乎是基体硬度(240 HV_{0.05})的4倍,而原始样品渗氮后整体硬度值为720 HV_{0.05}左右,明显低于SMAT样品渗氮后硬度值(920 HV_{0.05})。

2.5 耐蚀性分析

图5为未处理样品、原始氮化和SMAT样品氮化(430℃)处理后在3.5%NaCl溶液中的动电位腐蚀极化曲线。由图可见,原始样品在腐蚀过程中,腐蚀电流随腐蚀电位增加而持续增加。原始样品氮化后的腐蚀电位提高,且腐蚀电流减小。SMAT样品氮化后腐蚀电位高于原始样品,且腐蚀电流较低,表明SMAT样品氮化后耐蚀性优于原始氮化样品。

通过以上结果分析可以看出,在相同氮化条件(特别是相同温度)下,表面纳米化对离子渗氮起着重要的影响。在低温下,经过SMAT处理的42CrMo钢离子渗氮效果明显优于原始样品。其主要原因在于42CrMo钢经过SMAT处理后,表面晶粒细化,同时存在着大量缺陷(如非平衡晶界、高密度的位错)。这些缺陷为氮原子的扩散提供了快速通道,使得氮原子在材料表面中的扩散速度加快,在试样表层形成高的氮浓度,并且大幅度提高氮化物的低温形核率,有助于氮化物的形核和长大。同时,材料表面有较高的自由能,能改变渗氮反应的热力

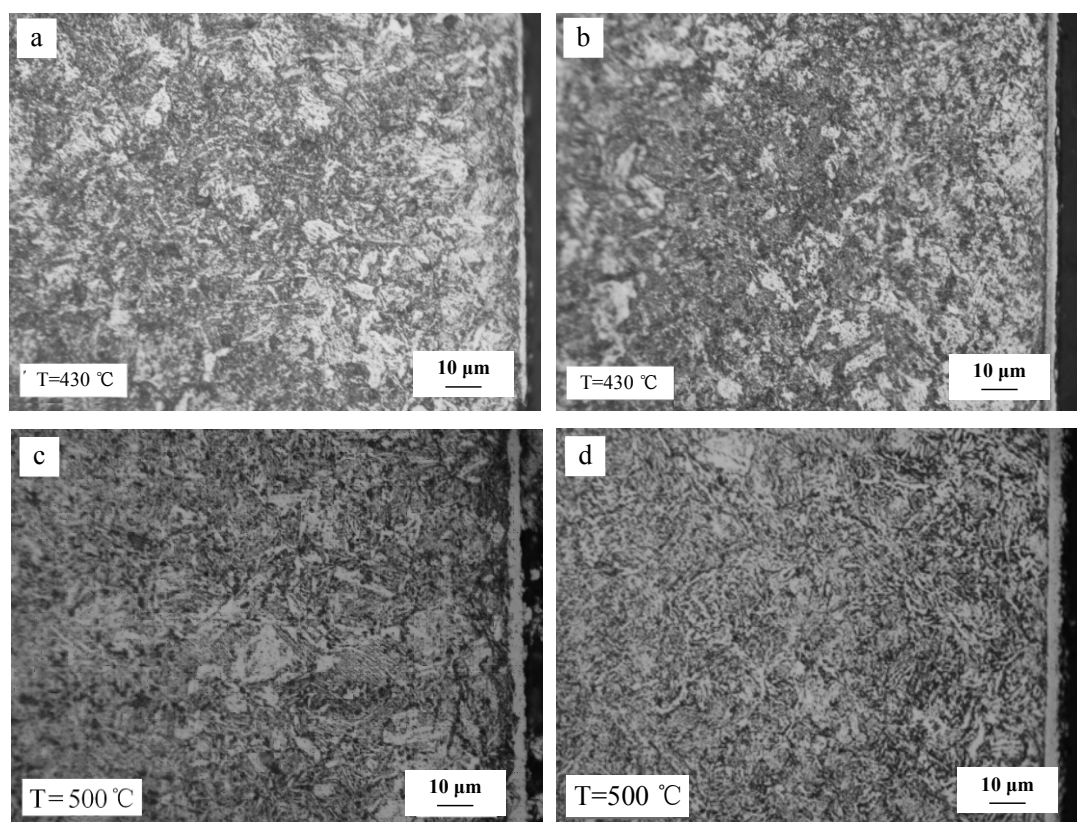


图4 原始试样(a)(c)和SMAT样品(b)(d)离子渗氮后的金相照片

Fig.4 Optical microscopy images of the plasma nitrided original (a) (c) and SMAT (b) (d) samples

学条件,使得渗氮反应易于在低温下进行。当高温下,进行离子渗氮处理时,产生的高能正离子轰击试样表面,轰击的能量迅速加热表面,使表层纳米结构的发生再结晶和晶粒长大,形成无缺陷的新晶粒,促进氮元素扩散的作用消失。

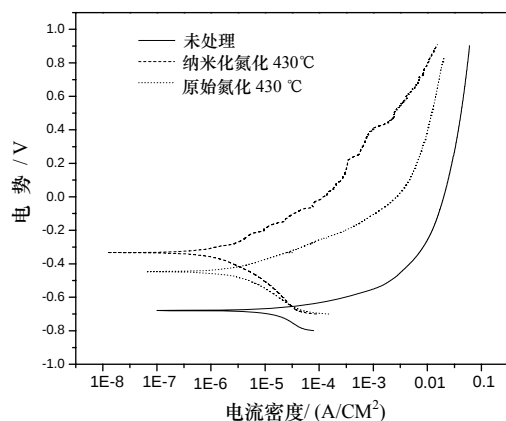


图5 不同处理条件下的 42CrMo 样品在 3.5%NaCl 溶液中的极化曲线

Fig.5 The comparison of potentiodynamic polarization curves of 42CrMo steel under different surface treatment in 3.5 % NaCl solution

3 结 论

(1) 利用表面机械研磨处理(SMAT)对 42CrMo 钢进行表面纳米化处理,可以在表面获得强烈塑性变形的纳米结构表层。

(2) 在低温下,经过 SMAT 处理的 42CrMo 钢可以获得致密的较厚的化合物层,且含有的 ϵ 和 γ' 要高于未纳米化试样。而高温下,两者的渗氮效果没有明显不同。

(3) SMAT 处理后的 42CrMo 钢与未纳米化试样离子渗氮后相比,表面硬度明显提高,同时耐腐蚀性提高。

参考文献:

- [1] Valiev R Z, Islamgaliev R K, Alexandrov I V. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation [J]. Progress in Materials Science, 2000, 45: 103-189.
- [2] 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.
- [3] 刘 刚, 雍兴平, 卢 柯. 金属材料表面纳米化的研究现状 [J]. 中国表面工程, 2001, 14(3): 1-5.
- [4] Lu K, Lu J. Nanostructured surface layer on metallic

materials induced by surface mechanical attrition treatment. Materials Science and Engineering A [J]. 2004, 375-377: 38-45.

- [5] Tong W P, Tao N R, Wang Z B, et al. Nitriding iron at lower temperatures [J]. Science, 2003, 299: 686-688.
- [6] 张洪旺, 刘 刚, 黑祖昆, 等. 表面机械研磨诱导 A ISI304 不锈钢表层纳米晶化 I. 组织与性能 [J]. 金属学报, 2003, 39 (4): 342-346.
- [7] Huang L, Lub J, Troyon M. Nanomechanical properties of nanostructured titanium prepared by SMAT [J]. Surface and Coatings Technology. 2006, 201: 208-213.
- [8] Lin Yi min, Lu Jian, Wang Li ping, et al. Surface nanocrystallization by surface mechanical attrition treatment and its effect on structure and properties of plasma nitrided AISI 321 stainless steel [J]. Acta Materialia, 2006, 54: 5599-5605.
- [9] Tong W P, Han Z, Wang L M, et al. Low-temperature nitriding of 38CrMoAl steel with a nanostructured surface layer induced by surface mechanical attrition treatment [J]. Surface and Coatings Technology, 2008, 202: 4957-4963.

作者地址: 大连海事大学材料科学与工程系 116026

Tel: 137 9513 0920

E-mail: dlmuly@yahoo.cn

(上接第 59 页)

- [6] 刘谦, 徐滨士, 许一, 等. 摩擦磨损自修复润滑油添加剂研究进展 [J]. 润滑与密封, 2006(2): 150-154.
- [7] 于鹤龙, 许一, 史佩京, 等. 应用铜型纳米自修复材料原位修复喷油泵柱塞偶件的研究 [J]. 中国表面工程, 2006, 19(5+): 140-142.
- [8] 刘谦, 徐滨士, 许一, 等. 纳米铜添加剂润滑摩擦表面分析 [J]. 材料工程, 2005(2): 13-16.
- [9] 刘谦, 徐滨士, 许一, 等. 摩擦表面纳米力学性能评定新方法 [J]. 新技术新工艺, 2004(10): 57-59.
- [10] Beake B. D, Zheng S, Alexander M. R. Nano-indentation testing of plasma-polymerised hexane films [J]. Journal of Materials Science, 2002. (37): 3821-3826.
- [11] 王飞, 徐可为. 去应力退火对铜膜纳米压入蠕变性能影响的研究 [J]. 中国表面工程, 2004, 17(5): 15-18.

作者地址: 北京丰台台长辛店杜家坎 21 号

100072

装甲兵工程学院再制造工程系表面工程研究所

Tel: (010)66718874

E-mail: llttqq@sina.com