• 材料改性 Material Propertiest • DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.016

表面改性技术对 38CrMoAl 钢组织与性能的影响

朱繁康,杨建志,张伟文,冼酷元

(华南理工大学广州华工光机电科技有限公司,广东广州 510640)

摘 要:对 38CrMoAl 钢进行碳氮共渗、氮碳共渗和脉冲真空渗氮处理,研究了表面改性后钢的显微组织、表面相结构、硬度、耐磨性和耐腐蚀性能。结果表明,碳氮共渗试样表面组织为回火马氏体;氮碳共渗试样表面组织为 Fe₂₄N₁₀ 化合物;脉冲真空渗氮试样表面组织为 Fe₂₃N 化合物。脉冲真空渗氮试样的表面硬度最高(1026 HV),磨损量最少;氮碳共渗试样的耐腐蚀性能最好,其锈蚀等级为 4 级。

关键词:38CrMoAl钢;表面改性;碳氮共渗;氮碳共渗;脉冲真空渗氮;耐磨性;耐腐蚀性

中图分类号:TG156.8+2 文献标识码:A 文章编号:1000-8365(2021)02-0134-04

Effect of Surface Modification Technology on Microstructure and Properties of 38CrMoAl Steel

ZHU Fankang, YANG Jianzhi, ZHANG Weiwen, XIAN Kuyuan

(Guangzhou Huagong Opto-mechatronics Technology Co., Ltd., South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The microstructure, surface phase structure, hardness, wear resistance and corrosion resistance of 38CrMoAl steel were studied by carbonitriding, nitriding and pulsed vacuum nitriding. The results show that the surface microstructure of carbonitriding samples is tempered martensite. The surface structure of nitriding samples is $Fe_{24}N_{10}$ compound. The surface structure of pulse vacuum nitriding sample is $Fe_{23}N$ compound. The surface hardness of pulsed vacuum nitriding sample is the highest, and the hardness is 1 026 HV, and the wear of pulsed vacuum nitriding sample is the least. Nitrocarburizing sample has the best corrosion resistance, and its corrosion grade is 4.

Key words: 38CrMoAl steel; surface modification; carbonitriding; nitrocarburizing; pulse vacuum nitriding; wear resistance; corrosion resistance

38CrMoAl 钢是传统的优质渗氮钢, 经调质处 理后可以获得良好的综合力学性能;再经表面渗氮 后具有较高的表面硬度,渗氮层具有较高的耐磨性 能、抗疲劳强度和一定的抗腐蚀性能^[1-3]。38CrMoAl 钢通常用于制造高耐磨性、高疲劳强度和高尺寸稳 定性的零件。为了满足特定的性能要求,崔国栋^[4]等 人研究了氧氮共渗的组织与性能,陈尧^[5]等人进行 特殊要求渗氮工艺研究,宋娜^[6]等人还研究了稀土 元素对该钢种离子渗氮工艺的影响, 但对 38Cr-MoAl 钢碳氮共渗、氮碳共渗和脉冲真空渗氮工艺 相关研究报道较少。本文作者针对热处理工艺对 38CrMoAl 钢组织与耐磨性和耐腐蚀性的影响进行 了研究,以完善和收集相关数据,为专业工程技术 人员提供实验依据。

基金项目:广东省普通高校创新团队项目(2020KCXTD043) 作者简介:朱繁康(1977-),广东英德人,硕士,高级工程师.研究 方向:金属热处理工艺,企业管理. 电话:18927769463,E-mail:zfk8331@126.com

1 试验方法

1.1 调质处理

试验材料采用 φ30×110 mm 的 38CrMoAl 圆 钢,经调质处理后加工成各类试样。其中硬度和金相 显微组织试样尺寸为 15 mm×15 mm×15 mm, 耐磨 试样尺寸为 10 mm×10 mm×11 mm, 耐腐蚀试样尺 寸为 φ25 mm×10 mm。调质处理工艺为:淬火温度 930 ℃,保温 1 h,水基淬火介质冷却;回火温度 620 ℃,回火时间 3 h,回火后空冷。调质处理后硬度 为 285 HB,显微组织为回火索氏体,如图 1。

1.2 表面改性

对经调质处理后的各类试样进行表面改性处 理,处理工艺如表1所示。碳氮共渗在RTQF-10-ERM 型密封箱式多用炉里完成,氮碳共渗在 RJJ-80-6 型 井式气体氮化炉完成,脉冲真空气体渗氮工艺在 RJJ-120-6 型井式真空气体氮化炉完成。回火在 RJ2-45-6 型井式回火炉完成。其中脉冲真空气体渗 氮时,脉冲真空频率为1次/h,每次抽真空时将炉内

收稿日期:2020-11-18



图 1 38CrMoAl 圆钢试样的显微组织 Fig.1 Microstructure of 38CrMoAl sample

表1 表面改性处理工艺 Tab.1 Surface modification treatment processes

工艺名称	工艺参数
碳氮共渗	860 ℃×2.5 h (碳势 1.0%, 氨气流量 0.3 m ³ ·h ⁻¹),油
	冷→180 ℃×3 h(回火),空冷
氮碳共渗	570 ℃×5 h(通甲醇 5 mL/min,煤油 3 mL/min,氨气
	3 m ³ ·h ⁻¹ 油冷
脉冲真空	520 ℃×25 h(氨气分解率 25%~30%)+540 ℃×25
气体渗氮	h(氨气分解率40%~45%),炉冷

压力抽至-0.1 MPa 后停止抽真空,然后通入氨气; 当炉内的压力达到 0.1 MPa 时,打开排气阀,并使炉 内压力保持为 0.1 MPa 不变。

1.3 组织性能分析

用 HV-1000A 型显微维氏硬度计进行表面硬度 和渗层硬度分布曲线检测(载荷为 2.94 N,每次加载 15 s,保持 8 s,每个硬度值均为 3 次测量结果的平 均值)。用 DMI500M 型莱卡金相显微镜检测渗层金 相组织。用德国 Bruker D8 ADVANCE 型 X 射线多 晶衍射仪对试样表面进行物相分析。用 MM-200 型 磨损试验机对磨损试样进行磨损试验,对磨副直径 为 48 mm,厚度为 10 mm,材料为 Cr12MoV 钢,硬 度为 60 HRC。磨损试验在室温、无润滑剂条件下进 行,试验施加载荷为 98 N,对磨副转速为 200 r/min, 磨损时间分别为 15、30、45、60、75 和 90 min; 用万 分之一天平称重试验前后的重量,计算磨损失重。 磨损试样的磨痕形貌在 NOVA NANOSEM430 型环 境扫描电子显微镜进行扫描电镜。用 HN-90 型全自 动盐雾试验机对试样进行耐腐蚀性能检测。

2 结果与分析

2.1 表面硬度

图 2 为不同表面改性工艺处理试样的表面硬度。由图可知,表面硬度最高的是脉冲真空渗氮处理的试样,硬度为 1 029 HV,表面硬度最低的是碳氮共渗工艺处理的试样,硬度为 738 HV。图 3 为不同工艺处理试样的硬度分布曲线,可见碳氮共渗硬度分布比较平缓,心部硬度最高,渗层深度为





1200 -碳氮共渗 1000 氮碳共渗 脉冲真空渗氮 表面硬度(HV) 80 600 400 200 0 0 200 400 600 800 距表面的距离/µm



0.42 mm;氮碳共渗硬度分布最陡,渗层深度最浅, 渗层深度为 0.23 mm;脉冲真空渗氮渗层深度最深, 渗层深度为 0.48 mm。

2.2 渗层组织及相结构

图 4 为不同表面改性工艺处理试样的显微组 织。图 4(a)为碳氮共渗试样表面的显微组织,为针 状马氏体及少量残留奥氏体。图 4(b)为碳氮共渗试 样心部的显微组织,由板条状马氏体+针状马氏体+ 少量颗粒状铁素体构成。图 4(c)为氮碳共渗试样表 面的显微组织,最表层为白亮化合物层 ε 相 (Fe₂₄N₁₀),厚约 15 μm,化合物层里层有针状的氮化 物;次表层为共渗扩散区,为含氮素氏体,由少量脉 状氮化物分布其中。图 4(d)为脉冲真空气体渗氮试 样的表面组织,最表层为白亮层 ε 相(Fe₂₃N),白亮 层厚度不均匀,厚的位置约 15 μm,薄的位置约 10 μm;里层为扩散层,扩散层基体为含氮素氏体, 有少量脉状氮化物分布其中。

图 5 为不同表面改性工艺处理后试样表层的 XRD 衍射谱。由图 5 可知,3 种工艺处理试样表面 的相结构相差甚远,图 5(a)中碳氮共渗试样表面相 组成主要为回火马氏体,图 5(b)中氮碳共渗试样表 面的相结构主要为 Fe₂₄N₁₀,图 5(c)中脉冲真空渗氮 试样表面的相结构主要为 Fe₂₃N 相。

2.3 耐磨性

图 6 为不同工艺处理试样的耐磨试验结果。由



2 0 15 30 45 60 75 90 磨损时间/min 图 6 耐磨试验结果 Fig.6 Results of wear resistance test

图可见,不同工艺处理试样的磨损量均随磨损时间的延长而增大。在相同的磨损时间里,磨损量最小的是脉冲真空渗氮试样。在耐磨试验初期(前45 min),3种工艺处理试样的磨损量差别不大,这是因为3种工艺处理试样的表面硬度均较高,耐磨性均较好。其中氮碳共渗试样和脉冲真空渗氮试样表面均存在硬度高并且摩擦系数小的化合物层。磨损试验后期(后45 min),氮碳共渗试样的磨损量明显比碳氮共渗试样和脉冲真空渗氮试样大,并且磨

图 7 为不同工艺处理试样经过 90 min 磨损试 验后磨痕的 SEM 照片。由图可见,不同工艺处理试 样的摩擦磨损机制均为磨粒磨损和黏着磨损。由图 7(a)可知,碳氮共渗试样表面的磨痕宽度大,深度比 较浅,呈浅犁沟状。在犁沟边有大小不同的磨粒附着 在上面,犁沟底部有大小不一的剥落层。由图 7(b) 可见,氮碳共渗试样磨痕宽且深,呈深犁沟状。有磨 粒分布于犁沟壁上,在犁沟底部有大块的剥落层。由 于氮碳共渗试样表面有约 15 μm 白亮层,白亮层在 较大载荷下发生破碎,大部分破碎的白亮层被对磨 副磨轮带走,有少量破碎的白亮层来不及脱落而形 成细小的磨粒,加剧对磨副磨轮与试验表面之间的 磨损。随着磨损时间的延长,试样扩散层被磨去,只 剩下硬度较低的基体与对磨副磨轮进行磨损,剥落



(a)碳氮共渗

形貌相似,犁沟宽度和深度相对较小。

(b)氮碳共渗

(c)脉冲真空渗氮

图 7 试样磨痕 SEM 照片 Fig.7 SEM photographs of samples abrasion mark

的硬质白亮层颗粒更容易被挤压到基体上,在磨轮的带动下,黏着基体并将基体撕裂。由图7(c)可知,脉冲真空渗氮试样磨痕形貌与碳氮共渗试样磨痕

2.5 耐腐蚀性能

根据《GB/T 10125-2012 人造气氛腐蚀试验盐 雾试验》标准对试样进行中性盐雾试验。试验溶液 为 50 g/L 的 NaCl 溶液,收集溶液的 pH 值为 6.7,盐 雾沉降率为 0.9 mL/h,温度为 35 ℃,试验时间为 24 h。实验后根据试样的锈蚀面积比例来判定锈蚀 等级。测量得到碳氮共渗处理试样的腐蚀面积比例 为 46%,对应的锈蚀等级为 1 级;氮碳共渗处理试 样的腐蚀面积比例为 4.2%,对应的锈蚀等级为 4 级;真空脉冲渗氮处理试样的腐蚀面积比例为 5.6%,对应的锈蚀等级为 3 级。从上述结果可以得 出:在试验条件下,耐腐蚀性能最好的是氮碳共渗 处理试样,耐腐蚀性能其次的是脉冲真空渗氮处理 试样,碳氮共渗处理试样的耐腐蚀性能最差。

3 结论

(1)调质处理的 38CrMoAl 钢试样分别经碳氮 共渗、氮碳共渗和脉冲真空渗氮处理后,碳氮共渗 试样的表面硬度最低(732 HV),脉冲真空渗氮试样 表面硬度最高(1026 HV)。

(2)碳氮共渗试样表面组织为回火马氏体,氮碳共渗试样表面为 Fe₂₄N₁₀ 相的白亮层,脉冲真空渗氮试样表面为 Fe₂₋₃N 相的白亮层。

(3)随着磨损时间延长,各试样的磨损量均增 大;但在相同的磨损时间内,脉冲真空渗氮试样耐磨 性最好。

(4)氮碳共渗试样、脉冲真空渗氮试样和碳氮共 渗试样的耐腐蚀性能依次降低,其中氮碳共渗试样 的锈蚀等级是4级。

参考文献:

- [1] 冯治国,郑纪豹,刘静. 渗氮温度对 38CrMoAl 钢真空感应渗氮 层耐磨性的影响[J]. 材料热处理学报,2017,38(10):100-105.
- [2] 陆旭锋,潘应君,刘静.脉冲渗氮温度对 38CrMoAl 钢渗氮层耐 蚀性的影响[J].金属热处理,2014,39(12):34-37.
- [3] 宋慧瑾,鄢强,朱晓东,等. 38CrMoAl 活塞杆耐蚀性能研究[J].材料导报,2017,31(29):528-531.
- [4] 崔国栋,杨川,程海明. 38CrMoAl 钢气体氧氮共渗处理的组织 与性能[J]. 金属热处理,2008,33(12):46-48.
- [5] 陈尧,宋磊,张宸恺,等. 38CrMoAl 液压柱塞无白亮层低温离子 渗氮工艺研究[J]. 机械工程学报,2017,53(22):81-86.
- [6] 宋娜,强巍,杨小宁,等.稀土元素对 38CrMoAl 钢离子渗氮工艺的影响[J].装备环境工程,2019,16(9):74-78.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共8章:1铸铁件均衡凝固与有限 补缩;2铸铁件冒口补缩设计及应用;3压边浇冒口系统;4浇注系统大孔出流理论与设计;5铸件均 衡凝固工艺;6铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7浇注系统当冒口补缩设计方法; 8铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页,特快专递邮购价280元。 邮购咨询:李巧凤029-83222071,技术咨询:13609155628