

文章编号:2095-0411(2015)04-0047-06

激光淬火对 Cr12MoV 钢渗硼层摩擦与磨损性能的影响

王文昌¹, 谢春洋², 孔德军²

(1. 常州大学 石油化工学院, 江苏 常州 213164; 2. 常州大学 机械工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要:利用热浸渗法在 Cr12MoV 冷作模具钢表面制备了渗硼层,通过激光淬火对其进行了强化处理,并采用扫描电镜、X 射线衍射仪分析了渗硼层表面形貌和激光淬火前后物相组成。通过测试摩擦系数和磨损体积比,考察了激光淬火前后渗硼层摩擦与磨损性能,对其磨损机制进行了分析。结果表明,渗硼层表面存在大量孔隙,经激光淬火后试样表面孔隙有所减少,组织更加均匀;渗硼处理生成了 FeB 单相渗硼层,经激光淬火后渗硼层以 FeB 物相为主,产生了 Fe₂B、Fe-Cr 和 Cr₂B 等物相,降低了渗硼层脆性;激光淬火后渗硼层平均摩擦系数和磨痕深度分别下降了 20% 和 24.6%,磨损形式由剥落磨损转变为磨粒磨损,提高了渗硼层耐磨性能。

关键词:Cr12MoV; 渗硼层; 激光淬火; 摩擦系数; 磨损性能

中图分类号:TN 249; TG 115.5

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2015.04.009

Effects of Laser Quenching on Friction and Wear Properties of Boronized Layer on Cr12MoV Steel

WANG Weichang¹, XIE Chunyang², KONG Dejun²

(1.School of Petrochemical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2.School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The boronized layer was prepared in the surface of Cr12MoV cold worked die steel with hot dip process, which was strengthened by laser quenching, the surface morphologies and phase compositions of boronized layer before and after laser quenching (LQ) were analyzed with SEM (scanning electron microscope) and XRD (X ray diffraction), respectively. Comparing the wear volume ratios and friction coefficients, the friction and wear properties of boronized layer before and after LQ were investigated, and the wear mechanism was analyzed. The results show that on the surface of boronized layer, there exists a large number of pores; the surface porosities have been reduced after LQ, and the structures become more uniform. The phase of boronized layer is FeB, after LQ the phases are composed of Fe₂B, Fe-Cr and Cr₂B, decreasing the brittleness of boronized layer. The average friction coefficient and wear scar depth decrease by 20% and 24.6% after LQ, and the wear form is changed into abrasive wear from delamination wear, showing that the wear performance of boronized layer has improved.

Key words: Cr12MoV; boronized layer; laser quenching (LQ); friction coefficient; wear performance

Cr12MoV 钢是一种应用广泛的冷作模具钢,具有良好的耐磨性和淬透性,经淬火处理后其表面硬度

为 50~60HRC。但 Cr12MoV 钢仍因磨损而发生失效,影响其使用寿命,因此,有必要利用表面处理技术

收稿日期:2015-03-07。

基金项目:江苏省科技支撑计划(工业)(BE2014818)。

作者简介:王文昌(1982—),男,江苏建湖人,硕士,工程师,主要从事材料表面改性处理研究。

来提高其硬度和耐磨性能^[1-2]。工艺上常采用渗硼处理来达到提高表面性能的目的,经渗硼层表面硬度可达到 800~1 200HV,具有良好的热硬性、耐磨损和抗腐蚀等性能^[3-5]。但渗硼后表面组织脆性较大^[6-7],易剥落,影响了其使用寿命,需要对渗硼层进行进一步处理。激光淬火具有功率密度高、冷却速度快、不需要水或油冷却介质等优点,是一种清洁和快速的新型热处理工艺,受到国内外学者重视^[8-9],经激光淬火后材料强度、硬度、耐磨和腐蚀性能有较大的提高^[10-11]。Marta Paczkowska^[12]等采用激光渗硼的方法制备了渗硼层,分析了激光参数对表面组织的影响,对其表面耐磨性能做了展望。王宏宇^[13]等人对渗硼层进行了激光辐射处理,分析了激光辐照后渗硼层组织的变化,对比了激光辐照和激光熔覆对其表面耐磨性能的影响,但并未对其磨损机理进行深入分析,有关激光淬火对渗硼层磨损性能的影响尚未见到报道。本文利用热浸渗法在 Cr12MoV 冷作模具钢表面制备一层渗硼层,利用 CO₂ 激光对渗硼层进行激光表面淬火处理,通过扫描电镜和 X 射线衍射仪对渗硼层表面形貌和物相进行分析。通过磨损试验考察其摩擦磨损性能,探讨其磨损机制,为冷作模具表面改性处理提供实验依据。

1 试验方法

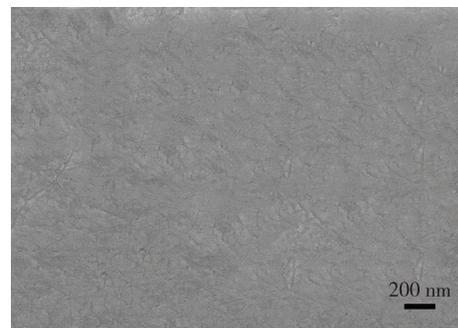
试验材料为 Cr12MoV 钢,其化学成分及质量分数如下: $w(C) = 1.45 \sim 1.70$, $w(Si) \leq 0.40$, $w(Mo) 0.40 \sim 0.60$, $w(S) \leq 0.03$, $w(P) \leq 0.03$, $w(Cr) = 11.0 \sim 12.5$, $w(V) = 0.15 \sim 0.30$,其余为 Fe。渗硼设备为盐浴炉,盐浴成分包括供硼剂、还原剂和添加剂。渗硼剂用硼砂及碳化硼等,SiC、硅钙合金及铝粉等作为还原剂,加入少量氯化钠和其他盐酸盐作为助熔盐。当盐浴温度加热至 1 000℃左右时,将试样浸入盐浴中,保温 6h 后取出,油淬,180℃回火 2h 后,即得试验所需的渗硼试样。在激光淬火前对渗硼试样表面施加吸光涂层(黑化处理),以提高激光吸收率。激光淬火试验在 GLS-IB 型 CO₂ 激光器进行,工艺参数:功率 1 500W,扫描速度 12mm/s,光斑直径 4mm。采用 JSUPRA5 型场发射扫描电镜和 D/max2500PC 型 X 射线衍射仪分析激光淬火前后渗硼层表面形貌和物相,并用 HXD-1000 型显微硬度仪测定其显微硬度。在 HSR-2M 往复式摩擦磨损试验仪上考察渗硼层磨损性能,记录其摩擦系数并测量试样磨损体积,测试参数:摩擦副为 $\Phi 5\text{mm}$ 陶瓷球,试验载荷 9.8N,试验时间 60min,往复次数 500 次/min,往复长

度 5mm。

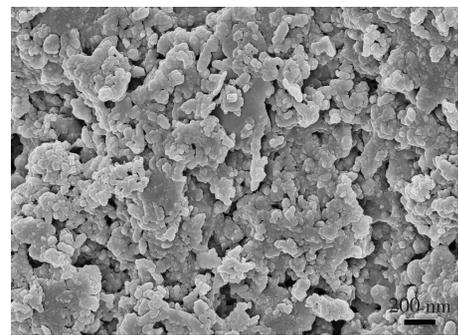
2 结果分析与讨论

2.1 表面形貌

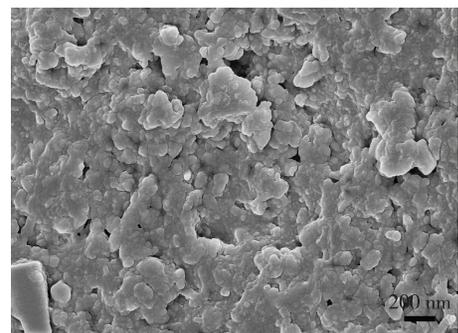
图 1 为激光淬火前后渗硼层表面形貌。由图 1(a)可见,原始试样表面较平整,无明显的缺陷。渗硼层表面出现较多细小孔隙,组织呈片状层堆积,如图 1(b)可所示。空隙的产生是由于渗硼时温度升高,一些不溶于硼化物的元素如 Si、Cr 等在硼化物晶界聚集成为孔核,同时原子热运动更加频繁导致空位浓度增多,在冷却时聚集的空位坍塌,致孔隙的形成^[14]。经激光淬火处理后试样表面孔隙和片状组织有所减少,如图 1(c)所示,这是由于激光淬火后发生了马氏体相变,体积发生膨胀的缘故。



(a) 渗硼前



(b) 渗硼后



(c) 渗硼后激光淬火

图 1 激光淬火前后渗硼层形貌

Fig.1 Morphologies of boronized layer before and after LQ

2.2 显微组织

图 2 为试样碳化物的显微组织图。原始试样碳化物较大,呈网状分布,如图 2(a)所示。渗硼处理后晶粒有所细化,表现为碳化物被打碎,尺寸变小,如图 2(b)所示。激光淬火后碳化物得到细化,成细条状分布(图 2(c)),原因在于在高能量密度的激光作用下,材料表面温度迅速升高后又快速冷却,奥氏体便转化为超细的马氏体组织^[15]。采用 HXD-1000 型显微硬度仪测定渗硼层显微硬度为 650HV,经激光淬火后渗硼层显微硬度为 873HV,提高了 25.5%,有利于改善渗硼层的磨损性能。

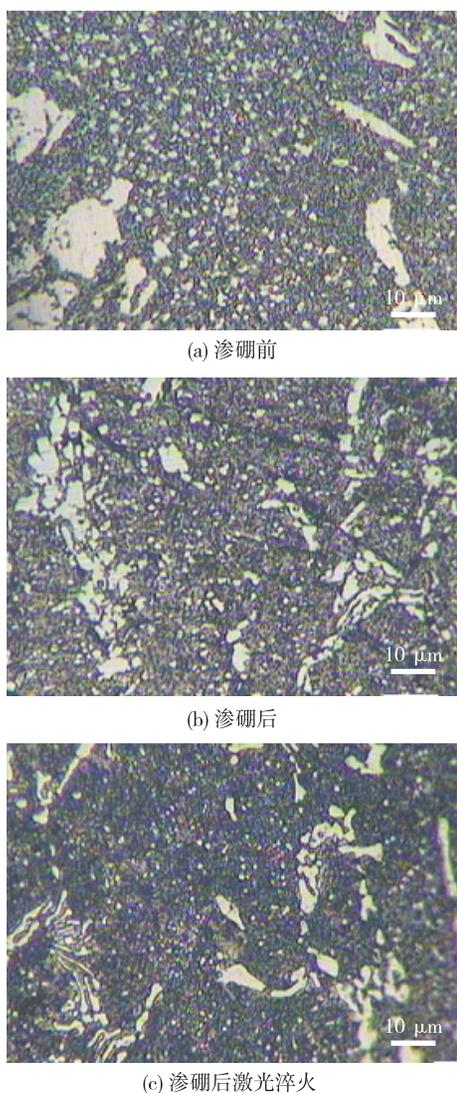


图 2 碳化物的显微组织

Fig.2 Microstructures of carbide

2.3 XRD 分析

激光淬火前后渗硼层表面的 XRD 分析结果如

图 3 所示。渗硼前材料表面主要为 α -Fe,如图 3(a)所示。渗硼处理后主要为 FeB 相(图 3(b)),衍射峰细窄,说明 FeB 结晶度良好。图 3(b)中约 63° 处衍射峰对应的晶面为 $[002]$ 方向,此衍射峰相对强度(标准 PDF 卡片中对应衍射峰强度 I /最强峰强度 I_1)为 22,其折合的最强线强度最高(即实验得到的衍射线强度 I_1 除以 PDF 卡片中该物质对应衍射线的相对强度 I/I_1),说明 FeB 晶粒的择优取向方向为 $[002]$ 。这表明晶体在生长过程中,晶粒沿垂直于表面的方向生长。经激光淬火处理后渗硼层以 FeB 物相为主,出现了 Fe_2B 、Fe-Cr 和 Cr_2B (图 3(c)),说明一部分 Cr 原子与 Fe 原子发生置

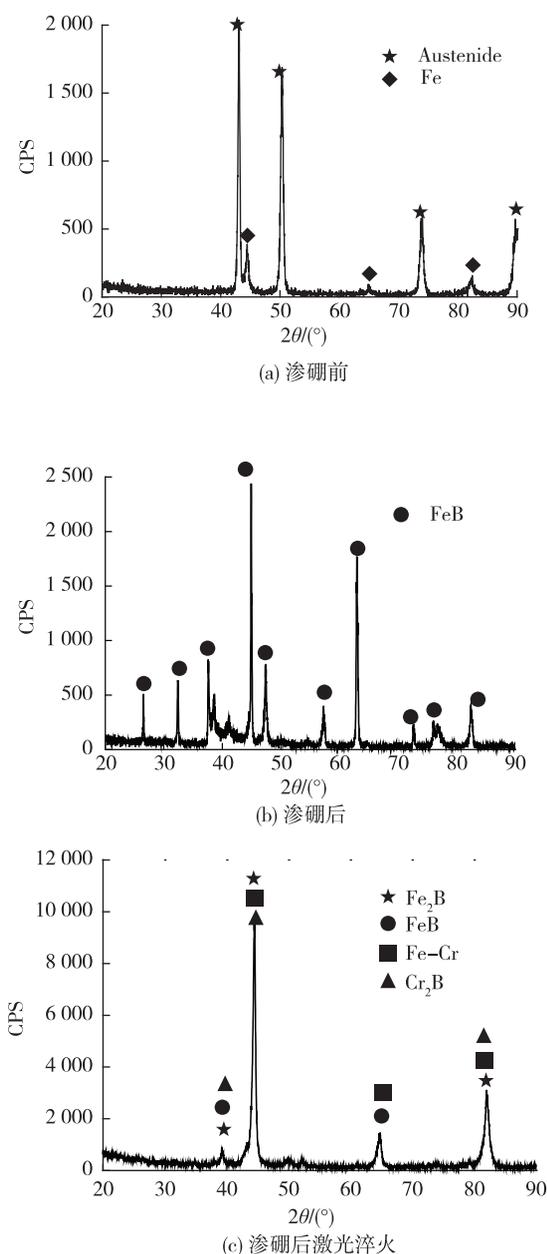


图 3 激光淬火前后渗硼层 XRD 分析

Fig.3 XRD analysis of boronized layer before and after LQ

换。激光淬火后渗硼层出现了 Fe-Cr 和 Cr_2B 等物相,说明微量的 Cr 原子与 Fe 置换,有利于降低渗硼层的本质脆性,降低剥落磨损倾向。

2.4 摩擦系数

在磨损时间 60min 内,3 种试样摩擦系数平均值分别为 0.980 8、0.959 6 和 0.766 8,摩擦系数与磨损时间关系如图 4 所示。在磨损开始阶段(0~6min),原始状态、渗硼处理、渗硼处理+激光淬火 3 种试样的摩擦系数均快速升高,随着试验的进行,摩擦系数达到相对平衡。原始试样在经历磨合阶段(6~15min)后,试样表面粗糙度逐渐减小,摩擦系数随之下降,最终稳定在 0.95 左右。经渗硼处理后试样表面显微硬度较高,在磨损开始阶段摩擦系数低于原始试样(6~30min)。但渗硼处理试样摩擦系数一直呈现缓慢上升的趋势,这是由于在往复磨损试验中存在着剥落磨损的缘故。经激光淬火后渗硼层在 6~23min 内出现缓慢下降,23~60min 阶段摩擦系数趋于平稳。

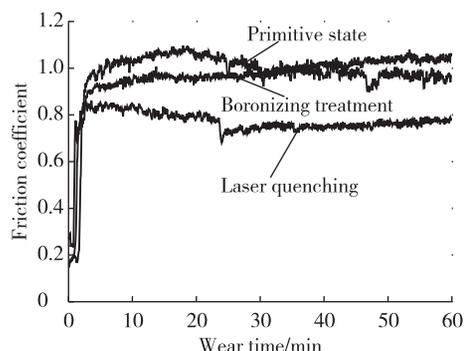


图4 摩擦系数与磨损时间关系

Fig.4 Friction coefficient vs wear time

2.5 磨痕分析

由图 5(a)可见,原始试样表面磨痕深度为 $108.8\mu\text{m}$,磨损严重,磨痕较宽,存在大量小犁沟(A区)。渗硼后磨痕深度为 $51.02\mu\text{m}$,比原始试样降低 53.1%,试样表面犁沟宽度和深度较浅,如图 5(b)所示。渗硼层在外力反复作用下出现了部分剥落现象(B区),这是渗硼层摩擦系数逐渐升高的主要原因。经激光淬火后渗硼层磨损形式表现为磨粒磨损,磨痕深度为 $46.88\mu\text{m}$,比渗硼试样降低 11.7%,磨痕和犁沟较细小,未发生明显剥落。

2.6 磨损形貌

由图 6(a)可见,原始试样磨损严重,磨屑较多,

出现了粘着磨损。其原因在于原始试样表面硬度较低,对磨副的粗糙峰嵌入试样,犁出多条沟槽。另外,由于粘着效应所形成的粘着结点发生剪切和断裂,被剪切的材料脱落成磨屑,或迁移到另一个表面,其原因亦为材料硬度相对不高。渗硼层的粘着磨损和磨粒磨损均不明显,其主要磨损形式为脆性剥落磨损,如图 6(b)所示。其表面磨屑较少,这是由于渗硼层表面易剥落,磨屑随磨损进行被排出。激光淬火后渗硼层磨屑较多,如图 6(c)所示。激光淬火后表面组织细化,表面显微硬度较高,因此,表面出现少量磨痕和裂纹,但剥落碎片较少。这表明激光淬火降低了渗硼层剥落倾向,主要有 2 个原因:①激光淬火后表面平坦(图 1(c)),改善了渗硼层疏松多孔的缺陷(图 1(b)),减少了外力作用下的应力集中;②激光淬火后渗硼层出现了 Fe_2B 和 Fe-Cr 等物相,微量的 Cr 原子与 Fe 置换,有利于降低渗硼层的本质脆性^[14]。

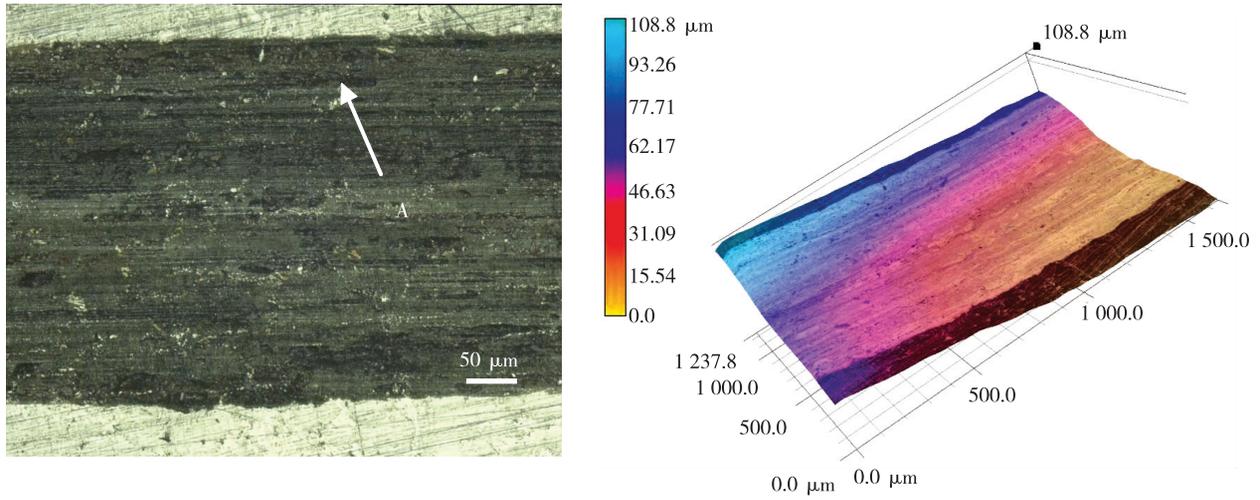
3 结论

1) 渗硼层物相为 FeB,表面存在孔隙,经激光淬火后出现了 Fe_2B 和 Fe-Cr 等新物相,孔隙有所减少,组织趋于均匀化。

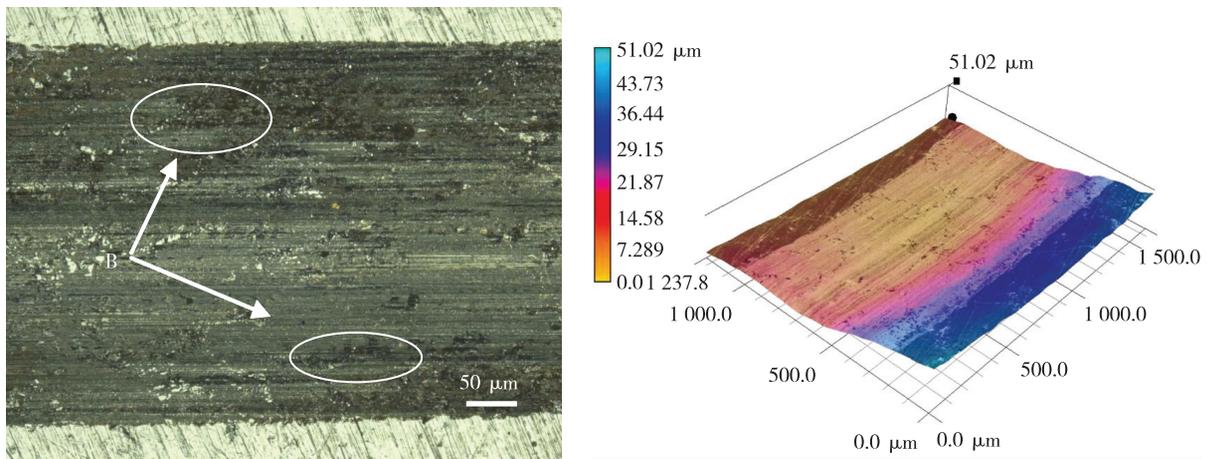
2) 渗硼层平均摩擦系数为 0.959 6,磨痕深度为 $62.17\mu\text{m}$,其磨损形式主要为剥落磨损;经激光淬火后渗硼层平均摩擦系数为 0.766 8,磨痕深度为 $46.88\mu\text{m}$,分别降低 20% 和 24.6%,其磨损形式为磨粒磨损。

参考文献:

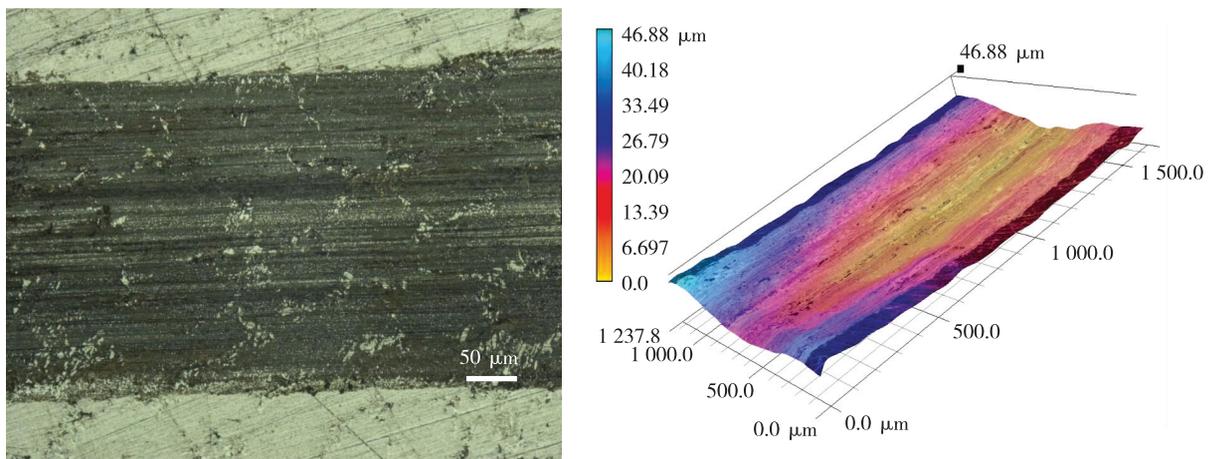
- [1]孔德军,付贵忠,周朝政,等.不同载荷下 TD 处理制备 VC 改性层的摩擦磨损行为[J].材料工程,2014(10): 53-58.
- [2]叶存冬,龙丹,孔德军,等. PVD 法制备 TiN/AlTiN 涂层的摩擦与磨损性能[J].四川大学学报(工程科学版),2013, 45(S1): 144-148.
- [3]孔德军,付贵忠,王文昌,等.激光淬火对 40CrNiMo 摩擦与磨损性能的影响[J].中南大学学报,2014, 45(3): 714-720.
- [4]KEDDAM M, KULKA M, MAKUCH N, et al. A kinetic model for estimating the boron activation energies in the FeB and Fe_2B layers during the gas-boriding of Armco iron: Effect of boride incubation times [J]. Applied Surface Science, 2014, 298(15): 155-163.
- [5]谢飞,叶雪梅,程健,等.工模具钢的一种节能高效表面渗硼技术[J].常州大学学报(自然科学版),2012,24(2): 1-4.
- [6]徐斌,李木森.降低渗硼层本质脆性对其摩擦磨损特性的影响[J].机械工程学报,2002, 38(11): 131-134.
- [7]王壁,孟牧,王华明.热处理及激光多道搭接对激光熔沉 TiCl_8



(a) 渗硼前



(b) 渗硼后



(c) 渗硼后激光淬火

图 5 激光淬火前后渗硼层表面磨痕分析

Fig.5 Surface scars of boronized layer before and after LQ

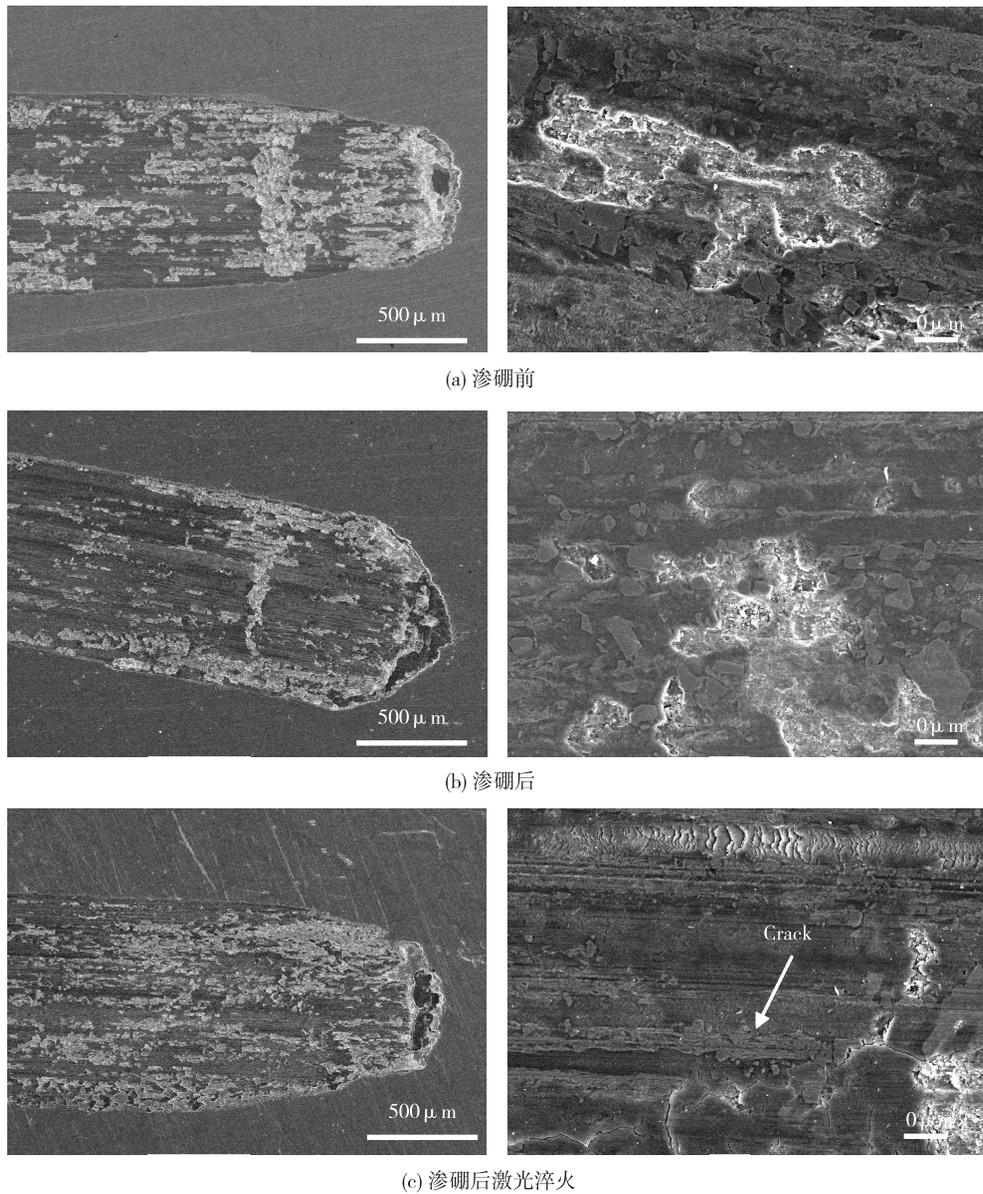


图 6 激光淬火前后渗硼层磨损形貌

Fig.6 Worn morphologies of boronized layer before and after LQ

钛合金组织的影响[J].红外与激光工程, 2010, 39(3): 521-525.

[8]谢飞, 朱丽曼, 程健, 等. 交流电场作用下的中低碳钢低温粉末法渗硼[J].常州大学学报(自然科学版), 2015, 27(1): 41-45.

[9]李刚, 相珺, 况军, 等. GCr15 钢表面激光淬火的组织与性能[J].材料热处理学报, 2010, 31(4): 129-132.

[10]杨立军, 张宏志, 吴雪峰, 等. 应用加热软化和应力效应的激光加工技术[J].红外与激光工程, 2011, 40(6): 1038-1043.

[11]李轶非, 王梁, 吴健栋, 等. NiCrMoV 耐热钢贝氏体焊缝韧性薄弱区的确定[J].机械工程学报, 2013, 49(4): 83-87.

[12]PACZKOWSKA M, RATUSZEK W, WALIGÓRA W. Micro-structure of laser boronized nodular iron[J].Surface and Coatings Technology, 2010, 205(7): 2542-2545.

[13]王宏宇, 赵玉凤, 徐晓静, 等. 热处理对 65Mn 钢表面渗硼层组织和性能的影响[J].材料热处理学报, 2012, 33(12): 142-146.

[14]王义强, 邓猛, 袁修华, 等. 激光强化机床导轨的显微组织及性能的试验研究[J].材料热处理学报, 2014, 35(6): 163-167.

(责任编辑:李艳)