

激光处理对2Cr13不锈钢微动 磨损性能的影响

杨德华 张绪寿 薛群基

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑开放研究实验室 兰州 730000)

摘要 利用X射线衍射仪、扫描电子显微镜和透射电子显微镜分析了激光相变硬化、激光熔凝渗碳和未经激光处理的2Cr13不锈钢的相组成和显微组织,用显微硬度计和SRV型微动磨损试验机分别测量了两种激光处理硬化层的显微硬度沿层深的分布及其与基体2Cr13不锈钢的相对耐磨性,并且结合对微动磨痕表面形貌的扫描电子显微镜观察,发现激光相变硬化和激光熔凝渗碳处理可以分别使2Cr13不锈钢的微动耐磨性提高4.48倍和1.81倍.这两种激光处理之所以都能够大幅度地提高2Cr13不锈钢的微动磨损性能,是因为使这种不锈钢的主要微动磨损机制由粘着擦伤和严重的塑性变形转变成了氧化磨损和脱层损伤.

关键词 激光处理,微动耐磨性,粘着和擦伤,氧化磨损和脱层损伤,2Cr13不锈钢

1 前言

微动磨损是在小振动振幅情况下发生的一种特殊的磨损形式,容易引起对磨件的局部磨损或促进疲劳裂纹的萌生而急剧降低材料的疲劳强度.因此,自本世纪七十年代以来,人们曾研究过利用涂层或表面处理方法以防止或减缓材料的微动磨损和微动疲劳^[1,2].激光表面处理技术是强化金属表面的最新手段之一^[3],近年来的研究和应用结果表明,激光相变硬化和激光熔凝渗碳处理都是提高金属表面之耐磨性能和抗疲劳性能的有效途径,然而截至目前却还没有见到用激光技术处理材料表面以减少其微动磨损的报道.本文研究了激光相变硬化和激光熔凝渗碳处理对2Cr13不锈钢微动磨损行为的影响,并且探讨了它们改善2Cr13不锈钢微动磨损的机制.

2 试验部分

2.1 试样的激光处理

将860℃下退火处理的2Cr13不锈钢加工成19.0mm×12.4mm×7.9mm的长方块,其表面在清洗干净之后再喷涂一定厚度的石墨层,以增加表面对激光的吸收和作为激光渗碳的碳源.激光处理参数:功率为2000W,光斑直径为8mm,激光相变硬化和激光熔凝渗碳处理时的激光扫描速度分别为16mm/s和8mm/s.

2.2 微动磨损试验

激光处理前后之试样的微动磨损试验均在SRV型微动磨损试验机上进行,偶件为

1992-11-26 收到初稿,1993-09-26 收到修改稿

本文通讯联系人杨德华

φ 10mm 的 GCr15 轴承钢球 (HRC 63), 试样的接触形式为球-平面式接触. 试验条件为负荷 100N、振幅 50 μ m、频率 40Hz、循环数 2×10^5 次、室温、无润滑.

3 试验结果与讨论

3.1 激光处理层的相组成和显微硬度分布

在 D/MAX-RB I 型 X 射线衍射仪上对激光处理前后的试样进行了物相分析. 由图 1 所示

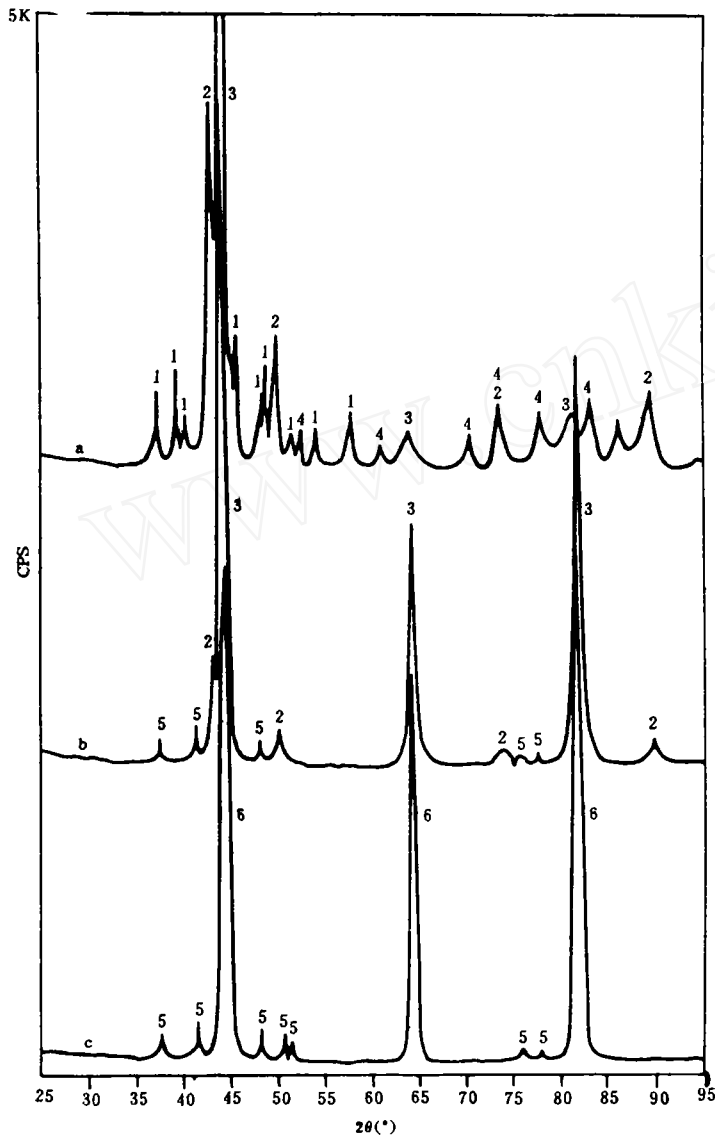


Fig. 1 X-ray diffraction spectra of the specimens

a. Specimen No 3, b. Specimen No 2, c. Specimen No 1.

1. Fe₃C, 2. γ -Fe, 3. Martensite, 4. Cr₇C₃, 5. Cr₂₃C₆, 6. α -Fe.

图 1 几种试样的 XRD 谱图

a. 3# 试样, b. 2# 试样, c. 1# 试样.

1. Fe₃C, 2. γ -Fe, 3. 马氏体, 4. Cr₇C₃, 5. Cr₂₃C₆, 6. α -Fe.

X 射线衍射(XRD)谱图可以看出, 2Cr13 不锈钢基体(1[#])的相组成为铁素体+Cr₂₃C₆; 激光相变硬化处理之试样(2[#])的相组成为马氏体+残余奥氏体+Cr₂₃C₆; 激光熔凝渗碳之试样(3[#])的相组成为马氏体+残余奥氏体+Cr₇C₃+Fe₃C。

由图 1 还可以看出, 2[#] 试样与 1[#] 试样中碳化物的结构和数量均无明显差异, 只是由于激光快速加热和冷却的作用致使 2[#] 试样表面发生了马氏体相变, 同时有一定量的残余奥氏体生成, 3[#] 试样中的残余奥氏体比 2[#] 试样中的多, 这是由于渗入的碳进一步降低了马氏体的转变温度而阻碍奥氏体向马氏体转变的缘故^[4,5]。此外, 由于激光熔凝渗碳致使 3[#] 试样的碳化物形式由高 Cr/C 比的 Cr₂₃C₆ 转变为低 Cr/C 比的 Cr₇C₃, 并有一定量的 Fe₃C 生成, 后者的生成是 C 与 Cr 化合过剩的结果。

图 2 示出了 2[#] 和 3[#] 试样横截面组织形貌的扫描电子显微镜(SEM)照片, 可以看出,

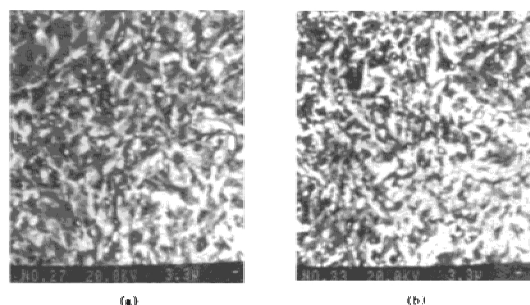


Fig. 2 Scanning electron micrographs of the cross sections of the specimens (3000X)

(a) Specimen No. 2, (b) Specimen No. 3.

图 2 两种试样横截面的 SEM 照片(×3000)

(a) 2[#] 试样, (b) 3[#] 试样。

两者都是马氏体基体上均匀分布着碳化物颗粒的组织, 其中 3[#] 试样所含的碳化物颗粒比 2[#] 试样所含的多。

图 3 和图 4 给出了 2[#] 试样激光相变硬化层之显微组织的透射电子显微镜(TEM)照片和相应选区的电子衍射像。可以看出, 激光相变硬化层的显微组织系由含有大量位错的板条状马氏体和板条间的残余奥氏体(图 3)及 Cr₂₃C₆ 型碳化物(图 4)组成。这与 XRD 及 SEM 的测试和观察结果相符。

图 5 所示为两种激光处理之 2[#] 和 3[#] 试样的横截面经研磨和抛光后显微硬度沿层深分布的测量结果。可以看出, 2[#] 试样激光相变硬化层的平均硬度为 HV 520, 硬化层和过渡层的厚度均约为 200μm; 3[#] 试样激光渗碳层的硬度为 HV 570, 渗碳层和过渡层的厚度分别约为 300μm 和 700μm。两种激光处理层的硬度均比基体 2Cr13 不锈钢的 HV 200 高一倍以上, 这是马氏体相变强化和碳化物弥散强化的结果, 而 3[#] 试样的硬度比 2[#] 试样的高则是由于它含有更多碳化物颗粒的缘故。

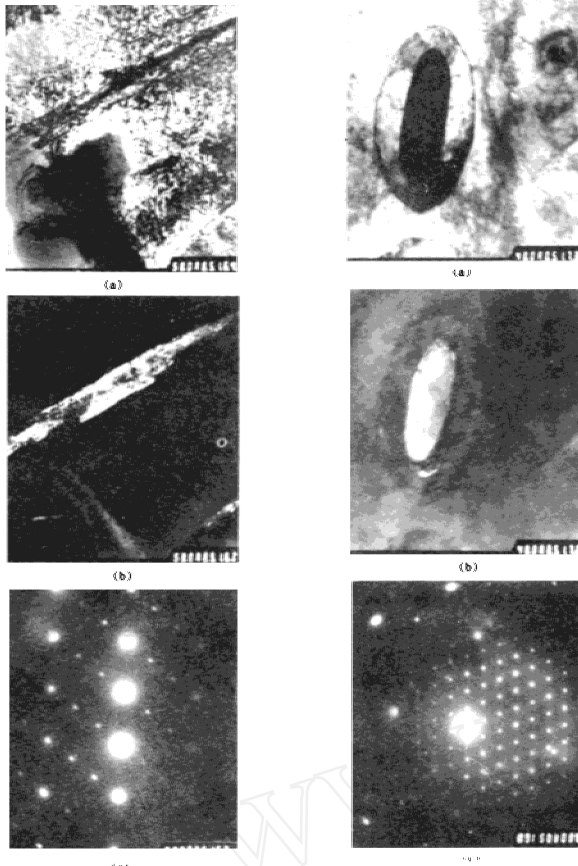


Fig. 3 TEM photographs of plate-like martensite and austenite in the laser transformation hardened layer of the specimen No 2
(a) Bright-field micrograph, (b) Dark-field micrograph, (c) Electron diffraction of selected area.

图3 2[#] 试样激光相变硬化层内板条状马氏体及板条之间残余奥氏体的TEM照片
(a) 明场像, (b) 暗场像, (c) 相应选区的电子衍射像。



Fig. 4 TEM photographs of carbide Cr_7C_3 in the laser transformation hardened layer of the specimen No 2
(a) Bright-field micrograph, (b) Dark-field micrograph, (c) Electron diffraction of selected area.

图4 2[#] 试样激光相变硬化层内 Cr_7C_3 型碳化物的TEM照片
(a) 明场像, (b) 暗场像, (c) 相应选区的电子衍射像。

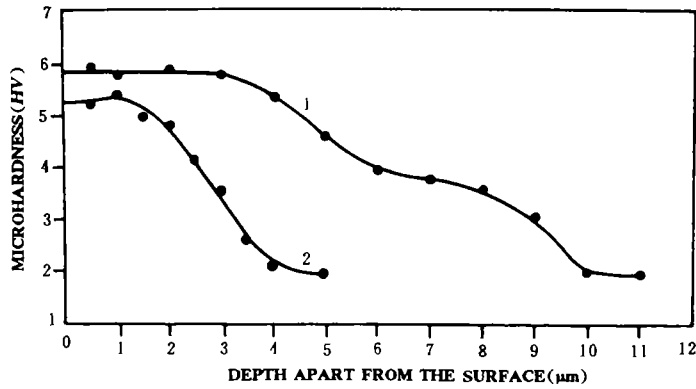


Fig. 5 Microhardness of the laser treated specimens vs depth

1. Specimen No 3, 2. Specimen No 2.

图 5 两种激光处理试样之显微硬度随层深的变化

1. 3[#] 试样, 2. 2[#] 试样.

3.2 微动磨损性能

3 种试样在给定条件下的微动磨损体积及其相对耐磨性如表 1 所列, 可见 2Cr13 不锈钢经激光相变硬化和激光熔凝渗碳处理后的微动耐磨性都有明显提高.

图 6 所示为 1[#] 和 2[#] 两种试样之微动磨痕表面形貌的 SEM 照片. 可以看出, 没有经过激光处理的 2Cr13 不锈钢的微动磨损机制主要是粘着擦伤和严重的塑性变形[见图 6(a)所示], 而经过激光处理以后的 2Cr13 不锈钢由于硬度提高, 抵抗粘着擦伤和塑性变形的能力都明显增大, 从而使微动磨损机制发生了变化. 由图 6(c)所示可见, 在微动接触区的边缘部位是以氧化磨损为主, 磨痕表面由致密的氧化膜覆盖. 在微动接触的中心区域, 由于存在着较大的接触应力, 再加上微动过程中剪应力的反复作用, 造成了亚表层裂纹的萌生, 并且随着磨损过程的进行裂纹逐渐地积累和扩展, 最终导致材料以薄片状磨屑的形式脱离母体, 并在表面形成了具有浮雕状特征的浅坑[见图 6(d)所示]. 这由图 6(b)所示尚未脱离母体的片状材料也可以得到说明.

综合以上所述可知, 薄片状磨屑是金属表面原位破裂的产物, 而不是通过粘着从偶件表面转移过来后再剥落所形成.

由表 1 所列数据可以看出, 3[#] 试样的硬度比 2[#] 试样的高, 但其抗微动磨损的能力却远比 2[#] 试样的差. 这是因为在激光相变硬化处理的试样表面存在着残余压应力^[6], 而在激

表 1 3 种试样的磨损体积和相对耐磨性

Table 1 Wear volume and relative wear resistance of three specimens under the given conditions

Code of specimen	Laser treatment manner	Microhardness (HV)	Wear volume (mm ³ , × 10 ⁻³)	Relative wear resistance
1	Untreatment	200	48.02	1.00
2	Laser transformation hardening	520	8.94	5.48
3	Laser melt-solidification cementation	570	17.09	2.81

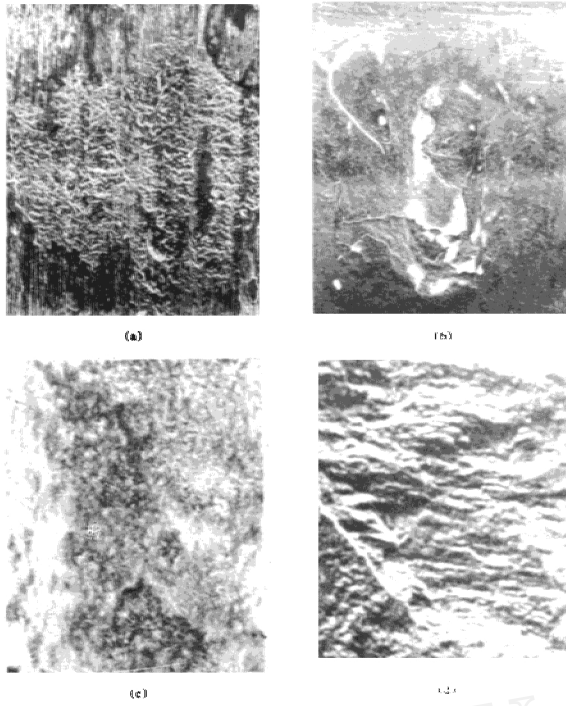


Fig. 6 SEM photographs of the fretting wear track on the surface of the two specimens

- (a) Whole view of the wear track of specimen No 1(100×).
 (b) Whole view of the wear track of specimen No 2(100×).
 (c) The enlarged photograph of wear track edge of specimen No 2(1000×).
 (d) The enlarged photograph of wear track center of specimen No 2(1000×).

图6 两种试样之微动磨损表面形貌的SEM照片

- (a) 1[#] 试样磨损的全貌(×100), (b) 2[#] 试样磨损的全貌(×100).
 (c) 2[#] 试样磨损边缘部位的局部放大(×1000).
 (d) 2[#] 试样磨损中心部位的局部放大(×1000).

光熔凝渗碳处理的试样表面存在着残余拉应力^[7,8],后者能够加速磨损过程中的裂纹形核与扩展.此外,正是由于3[#]试样的硬度比2[#]试样的高,故其韧性就比后者的差,这也就更容易碎裂而形成脱层损伤.

根据以上所述可见,硬度不是决定材料抗微动磨损能力的唯一因素.激光处理通过改变

2Cr13 不锈钢的硬度和组织,从而改变了它的微动磨损主要机制,使其抗微动磨损的能力得到显著改善.由于激光相变硬化处理试样具有合适的硬度和韧性,故其抗微动磨损性能比激光熔凝渗碳处理试样的更好.

4 结论

- a. 2Cr13 不锈钢的激光相变硬化层的相组成为马氏体+残余奥氏体+ Cr_{23}C_6 ,硬化层的硬度为 $HV\ 520$,厚度约为 $200\mu\text{m}$.
- b. 2Cr13 不锈钢的激光熔凝渗碳层的硬度为 $HV\ 570$ 、厚度约为 $300\mu\text{m}$,其相组成为马氏体+残余奥氏体+ Cr_7C_3 + Fe_3C .
- c. 激光相变硬化处理和激光熔凝渗碳处理可以分别使 2Cr13 不锈钢的微动磨损性能提高 4.48 倍和 1.81 倍.
- d. 激光处理使 2Cr13 不锈钢的主要微动磨损机制由粘着擦伤和严重的塑性变形转变为氧化磨损和脱层损伤.

参 考 文 献

- [1] Gordelier S C, Chivers T C. A literature review of palliatives for fretting fatigue. *Wear*, 1979, 56 : 177—190.
- [2] Bill R B. Selected fretting-wear-resistant coatings for Ti-6%Al-4%V alloy. *Wear*, 1985, 106 : 283—301.
- [3] 杨德华, 张绪寿. 45# 钢表面激光铬镍合金化及其耐磨性的研究. *固体润滑*, 1990, 10(3) : 153—159.
- [4] Beurs H De, Hosson J Th M De. Wear induced hardening of laser processed chromium-carbon steel. *Scripta Metallurgica*, 1987, 21 : 627—632.
- [5] Molian P A. Structure and hardness of laser-processed Fe-0.2%C-5.0%Cr and Fe-0.2%C-10.0%Cr alloys. *Journal of Materials Science*, 1985, 20 : 2 903—2 912.
- [6] Li W B, Easterling K E. Residual stresses in laser transformation hardened steel. *Surface Engineering*, 1986, 2 : 43—48.
- [7] Lamb M, West D R F, Steen W M. Residual stresses in two laser surface melted stainless steel. *Materials Science and Technology*, 1986, 2 : 974—980.
- [8] Beurs H De, Hovius J A, Hosson J Th M De. Enhanced wear properties of steel: a combination of ion implantation metallurgy and laser metallurgy. *Acta Metallurgica*, 1988, 36 : 3 123—3 130.

The Effects of Laser Treatments on the Fretting Wear Properties of 2Cr13 Stainless Steel

Yang Dehua Zhang Xushou Xue Qunji

(Laboratory of Solid Lubrication Lanzhou Institute of Chemical Physics

Chinese Academy of Sciences Lanzhou 730000 China)

Abstract The phase compositions and microstructures of laser transformation hardened, laser melt-solidification cemented and untreated 2Cr13 stainless steel were investigated using X-ray diffraction and scanning electron microscope. The microhardness distributions and fretting wear resistances of the three specimens were also measured using microhardness tester and fretting wear machine of model SRV, respectively. Combining the observation of fretted surface, we can draw a conclusion that laser transformation hardening and laser melt-solidification cementation make the fretting wear resistance of 2Cr13 stainless steel increases by 1.81 and 4.48 times more than the untreated one. The reason is that the laser treatments change the fretting wear mechanisms from severe scratching and adhesion to oxidation wear and delamination damage.

Key words Laser treatment, fretting wear resistance, adhesion and scratching, oxidation wear and delamination damage, 2Cr13 stainless steel