

文章编号: 1001-3806(2010)04-0514-03

激光表面处理 1.6% C 超高碳钢的组织与性能

岳云^{1,2,3}, 张占领^{1,2}, 张柯柯^{1,2*}, 马宁^{1,2}, 石红信^{1,2}

(1. 河南科技大学 材料科学与工程学院, 洛阳 471003; 2. 河南科技大学 河南省有色金属材料科学与加工技术重点实验室, 洛阳 471003; 3. 郑州四维机电设备制造有限公司, 郑州 450001)

摘要: 为了研究激光处理后超高碳钢表面组织及性能的变化, 采用 2kW 连续横流 CO₂ 激光器对超高碳钢(C 的质量分数为 0.016)进行了激光处理, 采用扫描电镜观察组织和显微硬度计测量深度方向显微硬度值的方法, 进行了理论分析和实验验证, 取得了沿深度方向的组织照片和硬度分布曲线。结果表明, 激光处理层分为熔凝层、过热层和相变硬化层。熔凝层可观察到胞状树枝晶和离异共晶; 相变硬化层组织细小, 显微硬度(高达 750HV ~ 905HV)高于其它层, 是典型的激光淬火组织。随激光功率增大(1000W ~ 1200W), 熔凝层中胞状树枝晶和离异共晶增多并细化, 马氏体数量减少, 各层的宽度、深度均增大, 显微硬度降低。这一结果对细化超高碳钢组织和改善其性能是有帮助的。

关键词: 激光技术; 表面硬化; 激光处理; 超高碳钢; 显微组织

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2010.04.022

Microstructure and property of 1.6% C ultrahigh carbon steel after laser surface treating

YUE Yun^{1,2,3}, ZHANG Zhan-ling^{1,2}, ZHANG Ke-ke^{1,2}, MA Ning^{1,2}, SHI Hong-xin^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. Henan Key Laboratory of Advanced Nonferrous Metals, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 3. Zhengzhou Siwei Mechanical and Electrical Equipment Manufacturing Co. Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to study the surface microstructure and property variation of ultrahigh carbon steel after laser treating, ultrahigh carbon steel (mass fraction of C is 0.016) was treated with 2kW continuous wave CO₂ laser. Then its microstructure was observed with a scanning electron microscope and its hardness was measured with a microhardness tester. Through theoretical analysis and experiments verification, the microstructure and microhardness curve along the depth direction were obtained. The results show that the laser treated layer includes surface melted layer, overheating layer and transformation hardening layer. The melted layer is composed of cystiform-dendritic and divorced eutectic. The grain size in transformation hardening layer is finer than that in other layers, its microhardness is higher and its hardness can reach 750HV ~ 905HV, which indicates a typical laser quenching microstructure. With the increase of laser power (1000W ~ 1200W), the volume fraction of cystiform-dendritic and divorced eutectic in melted layer increased, however the quantities of martensite decreased, each layer's width and depth were reduced, and microhardness decreased. It is helpful to refine microstructure of ultrahigh carbon steel and improve its property.

Key words: laser technique; surface hardening; laser treating; ultrahigh carbon steel; microstructure

引言

超细晶超高碳钢 (ultrahigh carbon steel, UHCS) 可以替代部分高碳钢、高合金钢应用于工模具、汽车钢, 晶粒较传统材料的细 5 倍 ~ 10 倍^[1-4]。参考文献[5] 中报道了超高碳钢(C 的质量分数为 0.017)经高频感

应循环淬火处理后, 晶粒超细化, 组织中出現大量的板条马氏体。通常钢铁材料经激光表面处理, 材料表层晶粒细化, 表层强度、显微硬度、耐磨性及使用寿命显著提高^[6-12]。超高碳钢中含有大量碳化物, 激光表面处理的作用如何, 还鲜见报道。探讨激光表面处理使超高碳钢表面强化以提高其耐磨性和使用寿命, 具有重要应用价值。作者对超高碳钢(C 的质量分数为 0.016)表面进行了激光处理, 研究工艺参量对组织和显微硬度等的影响, 为工业应用提供实验依据。

1 实验材料和方法

实验中用的超高碳钢化学成分(质量分数)为 C

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50774029); 河南省杰出青年科学基金资助项目(074100510011)

作者简介: 岳云(1981-), 女, 硕士研究生, 现在主要从事特种焊接技术的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhkekek@163.com

收稿日期: 2009-06-26; 收到修改稿日期: 2009-07-13

(0.0158), Cr(0.0154), Al(0.0166), Si(0.0049), Mn(0.0044), Fe(余量)。这种成分的超高碳钢, $A_{cl} \approx 800^\circ\text{C}$, $A_{cm} \approx 980^\circ\text{C}$, $T_m \approx 1290^\circ\text{C}$ [3]。经过控制轧制、球化退火后, 获得铁素体基体上均匀分布细小球状碳化物的组织, 硬度为 26HRC。这种细小均匀的原始组织为 2 次淬火提供了合适的条件。

将超高碳钢 (C 的质量分数为 0.016) 加工成 $\varnothing 15\text{mm} \times 25\text{mm}$ 圆柱试样, 对待处理端面进行黑化处理, 然后在 PRC-2000 型连续横流 CO_2 激光器上进行激光处理。参考关于钢的激光表面处理文献 [6-12], 本文中采用的激光处理工艺为: 激光功率 P 分别为 1000W, 1100W, 1200W, 光斑直径 $D = 4\text{mm}$, 扫描速率 $v = 15\text{mm/s}$, 往返扫描, 光斑重叠 1mm。激光处理后将试样沿垂直于扫描方向剖开, 剖面磨光抛光后用体积分数为 0.04 的硝酸酒精溶液浸蚀, 用 JSM-5610LV 型扫描电镜观察显微组织; 用 MH-3 型显微硬度计沿激光处理深度方向测量显微硬度, 载荷 2.9N, 加载时间 10s。

2 实验结果与讨论

2.1 显微组织及硬度

在激光扫描速率、光斑直径和重叠尺寸相同的条件下, 不同功率 (1000W, 1100W, 1200W) 处理后, 宏观组织形貌如图 1 所示。处理层剖面呈月牙状, 叠加扫

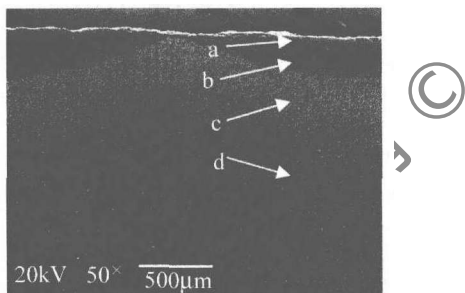


Fig. 1 Micrograph of UHCS after laser processing

描后淬硬层呈波节状。宏观组织由表层到内部可分为 4 个区域: a 为熔凝层、b 为过热层、c 为相变硬化层、d 为基材。图 2 是沿处理层层深方向的硬度分布曲

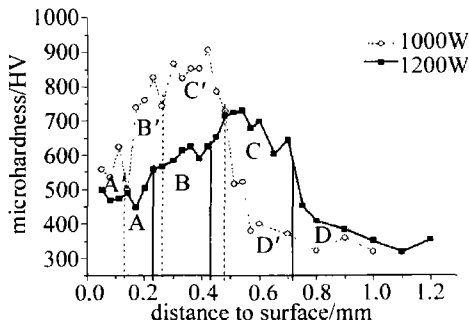


Fig. 2 Microhardness-distance to surface curve for UHCS after laser processing

线, A(A'), B(B'), C(C'), D(D') 分别对应图 1 中熔凝层、过热层、相变硬化层和基材。激光处理后各处

理层的硬度均明显高于基材, 不同功率处理后的曲线特征相同: 熔凝层硬度较低, 相变硬化层硬度最高。

熔凝层、过热层、相变硬化层和基材区的显微组织如图 3 所示, P 分别为 1200W, 1100W, 1000W 激光处

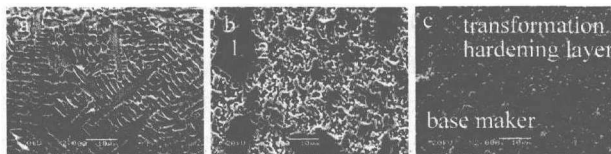


Fig. 3 SEM micrograph of UHCS (mass fraction of C is 0.016) after laser processing at 1200W

a—laser melted layer b—overheated layer c—transformation hardening layer and base maker

理后的组织相似。由图 3a 可以看出, 熔凝层主要由细小胞状树枝晶和枝晶间的离异共晶组成, 枝晶内部有马氏体和大量残余奥氏体。由图 3b 可以看出, 过热层由细小隐晶马氏体 + 共晶组织 + 残余奥氏体 + 未溶碳化物组成。图 3c 是相变硬化层/基材交界区的组织, 分界线在照片中部, 横向。相变硬化层组织为细小位错马氏体、隐晶马氏体 + 少量残余奥氏体 + 细小弥散碳化物。

激光扫描时试样最表层直接与激光接触, 加热时间长, 温度 T 超过超高碳钢 (C 的质量分数为 0.016) 液相线温度 T_l , 表层完全熔化 (熔凝层); 随后快冷时析出细小树枝状奥氏体 γ + 离异共晶 (γ + 碳化物 K)。继续冷却时枝晶和离异共晶内的 γ 转变成马氏体。由于该层 γ 中 C 含量最高, 马氏体转变阻力较大, 残余奥氏体最多, 因此显微硬度最低 (见图 2 中的 A 和 A'); 过热层温度 T 介于固相线 T_m 和液相线 T_l 之间, 局部熔化 (液相 L + γ), 快冷时形成共晶 (γ_1 + K) + 未熔 γ_2 混合组织, 较大的熔化区转变为团簇状共晶组织 (见图 3b 中的 1 处), 而微小的熔化区转变为细小的共晶组织 (见图 3b 中的 2 处), 最终形成隐晶马氏体 + 残余奥氏体 + 细小碳化物组织; 相变硬化层温度 $T < T_m$, 加热时间短, 奥氏体转变遵循非扩散型机理, 在某一近乎恒定的温度下铁素体自发地瞬时转变成同样成分的 γ [13], γ 含碳量较低, 时间延长时才发生碳化物向奥氏体少量溶解。由于该层 γ 含碳量较低, 马氏体相变阻力小, 快冷后形成大量细小马氏体 + 少量残余奥氏体 + 细小碳化物组织, 硬度最高 (见图 2 中的 C 和 C'), 为典型的激光淬火组织。

2.2 工艺参数的影响

熔凝层、过热层、相变硬化层的显微硬度均随激光功率 P 的增大而降低 (见图 2)。这是由于在其它参量不变的情况下, 激光功率越高, 导致加热温度越高、碳化物溶解越多, 快冷后残余奥氏体量越多, 残余奥氏体的存在是硬度低的根本原因, 这与参考文献 [8] 和参

考文献[9]的结果相同。

激光处理层的宽度 B 及深度 H 均随激光功率的增大而增大,功率分别为 1000W, 1100W, 1200W 时处理层的宽度/深度分别为 3.0mm/0.46mm, 3.6mm/0.65mm, 4.2mm/0.73mm。原因在于随激光器输出功率增大,输入试样的热量增加,表层金属被加热到临界点以上的区域扩大,热影响的深度和宽度也增大。随着激光功率 P 增大,熔凝层中胞状树枝晶和离异共晶增多且细化(见图 4 和图 3a)。结合显微硬度测试结果(见图 2),可以确定枝晶内部为马氏体及残余奥氏体的混合组织。

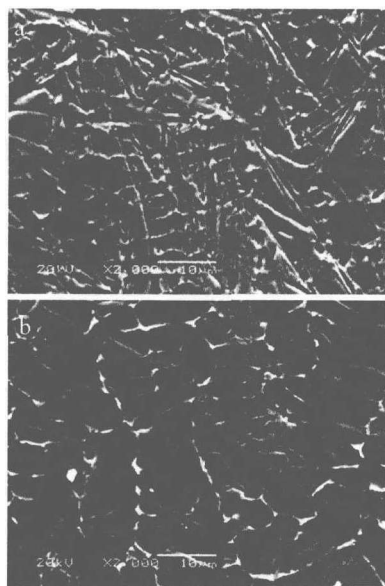


Fig. 4 SEM micrograph at surface layer of UHCS (mass fraction of C is 0.016) after laser processing
a—1000W b—1100W

功率较高(1200W)时,表层温度超过 T_m ,表面熔化,快凝固时先形成 γ 胞状树枝晶,随后在枝晶间形成 $\gamma + K$ 离异共晶,继续冷却 γ 转变成马氏体,未转变的 γ 成为残余奥氏体,而次表层才是正常的淬火层(见图 3c)。激光功率较低(1000W)时,试样表层温度低于 T_m ,奥氏体转变遵循非扩散型转变规律^[13],奥氏体大量形核,碳化物少量溶解,加上输入试样热量少,冷却较快,快冷形成细小的马氏体 + 残余奥氏体 + 少量碳化物的组织。

综上所述,由于超高碳钢的固相线远低于中低碳钢,要通过激光表面处理在超高碳钢(C的质量分数为 0.016)表层得到晶粒细小均匀、层深较深的硬化层,须减小激光输出功率 P ,降低扫描速率 v ,控制表面温度在 $A_{c1} \sim T_m$ 之间;相反,要在超高碳钢(C的质量分数为 0.016)中得到更深的熔凝层,则需要增大激光功率 P ,降低扫描速率 v 。

3 结论

(1) 超高碳钢(C的质量分数为 0.016)表面激光处理后,由表及里可分为熔凝层、过热层、相硬化层。熔凝层为细小的胞状树枝晶 + 离异共晶组织,枝晶内部为板条状和片状马氏体;相硬化层组织细小均匀,为典型的激光淬火组织。(2) 经不同功率激光表面淬火后,各处理层的显微硬度均高于基材,其中相硬化层硬度最高;各层的显微硬度随着激光功率的增大而降低。(3) 随着激光功率增大,处理层整体宽度和各层深度均增大,熔凝层组织中的胞状树枝晶和离异共晶增多且细化,板条状和片状马氏体数量减少。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Zh L, LIU Y N, ZHU J W. Microstructure and properties of ultrafine grained ultrahigh carbon (1.73 pct C) steel [J]. Chinese Journal of Materials Research, 2006, 20(4): 407-411 (in Chinese).
- [2] SYN C K, LESUER D R, SHERBY O D. Influence of microstructure on tensile properties of spheroidized ultrahigh carbon (1.8 pct C) steel [J]. Metallurgical and Materials Transaction, 1994, A25 (7): 1481-1492.
- [3] SUNADA H, WADSWORTH J, LIN J. Mechanical properties and microstructure of heat-treated ultrahigh carbon steels [J]. Material Science and Engineering, 1979, 38(1): 35-40.
- [4] TALEFF E M, SYN C K, SHERBY O D. Pearlite in ultrahigh carbon steel: heat treatments and mechanical properties [J]. Metallurgical and Materials Transactions, 1996, A27(1): 111-118.
- [5] XU Y, LIU Y N, ZHU J W, et al. Effect of high frequency induction heat treatment technology on microstructure of 1.7% C ultra high carbon steel [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2007, 28(3): 138-140 (in Chinese).
- [6] ZHAO Y Zh, LIU J P, SHI Y W. Study on the property of laser remelting high-carbon-high-alloy steel [J]. Laser Technology, 2003, 27(3): 205-207 (in Chinese).
- [7] SUN F J, LIU H J, HU F Y. Effect of laser remelting on performance of LY12CZ [J]. Chinese Journal of Laser, 2007, 34(8): 1159-1162 (in Chinese).
- [8] OUYANG A, HUANG A G, WANG Y T, et al. Study on laser phase transformation hardening of high-C-Cr roller steel [J]. Laser Journal, 2007, 28(4): 66-67 (in Chinese).
- [9] SHI Y, ZHANG H, XU Ch Y, et al. Study on 18Cr2Ni4W steel treated by carburizing and laser transformation hardening [J]. Laser Technology, 2003, 27(2): 113-115 (in Chinese).
- [10] ZHAO H Y, XIE Y J, MA X D, et al. Laser hardening mechanism of 32SiMnMoVA low alloy ultra-high strength steel [J]. Heat Treatment of Metals, 2005, 30(5): 281-283 (in Chinese).
- [11] XU R J, ZHANG Y K, CHEN J F. Microstructure change of AZ91 magnesium alloy surface melted by laser [J]. Laser Technology, 2008, 32(5): 487-489 (in Chinese).
- [12] MA K, YANG Y L, WANG Ch Sh, et al. Effect of laser hardening technical parameters on hardened depth of 40Cr steel [J]. Laser Technology, 2002, 26(4): 262-263, 289 (in Chinese).
- [13] CAO M C, ZHENG Q G, CHEN Z T, et al. laser heat processing [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1995: 335-344 (in Chinese).