

# 20CrMnTi 表面渗碳激光复合改性层耐蚀性能研究

李刚, 相珺, 沈晓明

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院, 辽宁阜新 (123000)

E-mail: [mogizixuan521@163.com](mailto:mogizixuan521@163.com)

**摘要:** 在 20CrMnTi 钢表面进行渗碳激光复合改性处理, 对渗碳 (渗碳温度 950°C, 保温时间 2h) 后的试样, 通过改变激光扫描功率的大小, 探讨了激光能量密度对改性层的组织和耐蚀性能的影响。结果表明: 增大激光能量密度可以细化改性层显微组织; 当激光功率为 1050W 时, 耐蚀性明显提高。

**关键词:** 20CrMnTi 钢; 激光相变硬化; 显微组织; 耐蚀性

**中图分类号:** TG156.99

## 0 引言

疲劳、腐蚀、摩擦和磨损引起的工程构件的失效大多发生在表面, 这一现象促使材料科学工作者对材料表面的极大关注, 并促使材料表面强化技术的迅猛发展。激光的出现为金属材料表面处理开辟了一条新的途径。激光相变硬化又称为激光淬火, 它是现有各种激光表面处理技术中研究和应用最多的方法之一<sup>[1,2]</sup>。然而, 目前激光表面相变硬化技术的应用还不像传统热处理技术那样广泛和成熟, 但由于其具有独特的优越性而正日益受到人们的重视, 已经在机械制造、交通运输、石油、矿山、纺织、冶金、航空航天等领域得到应用和发展<sup>[3,4]</sup>, 并逐步成为表面工程一个十分活跃的新兴领域。激光相变硬化主要用于提高材料表面硬度、抗磨性、抗腐蚀能力等机械性能<sup>[5,6]</sup>, 可以很大程度上满足材料的使用条件, 因而对其研究最多, 但以往研究人员很少与渗碳结合进行表面复合改性研究, 本试验就是探讨 20CrMnTi 钢经渗碳+激光相变硬化处理, 在不同的激光扫描下组织性能的变化情况, 从而使材料获得更为良好的力学性能, 并用来指导日后的实际生产实践。

## 1 试样制备与试验方法

### 1.1 试样制备

本实验所用材料为 20CrMnTi 钢, 其原始成分见表 1。

表 1 20CrMnTi 原始成分(质量分数,%)  
Tab.1 The chemical composition of 20CrMnTi (wt,%)

C	Mn	Si	Cr	Ti
0.17~0.23	0.80~1.10	0.17~0.37	1.00~1.30	0.04~0.10

首先对试件进行渗碳处理, 渗碳温度 950°C, 保温时间 2h, 可得到渗碳层深度为 10mm。然后采用 HL-1500 无氦横流 CO<sub>2</sub> 激光加工机, 对渗碳后的 20CrMnTi 试样进行激光相变硬化处理。激光工艺参数为: 光斑直径(D)为 4mm, 扫描速度(v)为 6mm·s<sup>-1</sup>, 离焦量(f)为 300 mm, 对 5 个试样分别用不同的激光功率(P)进行处理。

能量密度E是激光的能量参数, 其计算公式为:

$$E = \frac{P}{D \times V} \quad (2-1)$$

式中: P—激光发生器输出功率, w;

D—激光光斑直径, mm;

V—激光扫描速度, mm·s<sup>-1</sup>;

具体工艺参数及试样编号如表 2 所示。

表 2 试样的工艺参数  
Tab.2 The processing parameters of samples

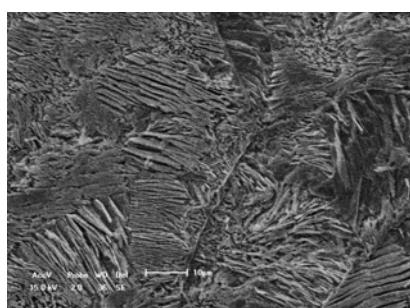
试样号	C A	C B	C C	C D	C E
P/w	650	750	850	950	1050
f/mm	300	300	300	300	300
E/J·mm <sup>-2</sup>	27.08	31.25	35.42	39.58	43.75

## 1.2 试验方法

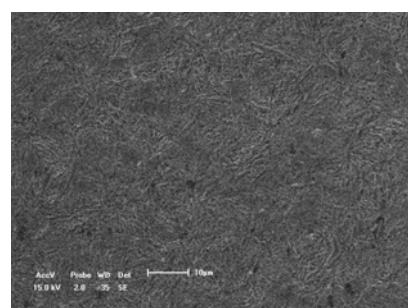
采用 SSX-550 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察不同激光功率扫描下改性层的显微组织; 采用硬度计测量不同激光功率扫描下的改性层的洛氏硬度 (测 5 次取平均值) 和截面的显微硬度 (间隔 0.05mm); 采用 ML-10 型滑动摩擦磨损机测量个试样的改性层失重, 计算磨损率  $\varepsilon = \frac{\Delta m}{S}$ , 使用 360#水磨砂纸, 转盘转速为 380r/min, 试样在砂纸上行程为 50cm, 载荷重量为 3N; 用环氧树脂将试样的非加工面封闭, 露出改性层表面, 采用 ZF-3 恒电位仪, 参比电极为饱和甘汞电极, 辅助电极为 Pt 电极, 浸入浓度为 0.5mol/L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中测试其阳极极化曲线; 利用 XRD-6000 衍射仪对改性层进行物相结构分析, 实验条件为 Cu 靶 Ka, Ni 滤波片, 扫描范围 10 度~100 度。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 显微组织



基体



CD

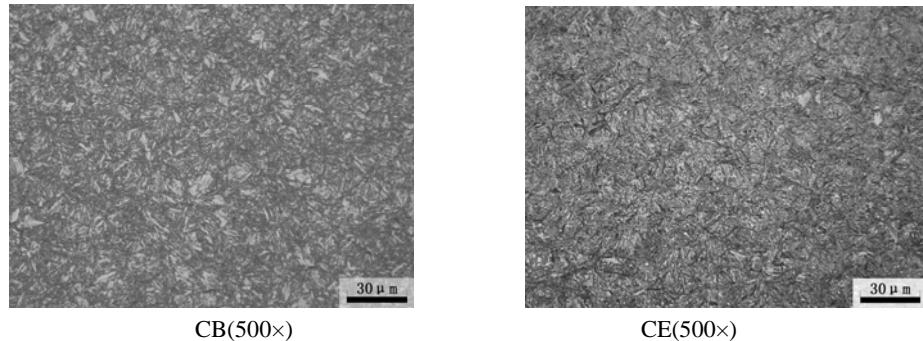


图 1 试样相变改性层显微组织

Fig. 1 The microstructure of changing-quality zone

如图 1 所示, 不同的能量密度对相变改性层的组织形貌有很大影响。20CrMnTi 钢的基体组织为铁素体和珠光体。渗碳作用使钢的碳含量由表及里逐渐降低, 在渗碳层中就形成了不同碳含量的奥氏体。当渗碳后缓慢冷却时, 渗层中与碳含量相对应的各种组织依次为: 表层组织珠光体+少量碳化物(过共析区); 向内是珠光体, 即共析区; 再往里是珠光体+铁素体, 且越接近心部, 珠光体越少, 称为亚共析区或过渡区。经渗碳激光复合处理后材料改性层的组织主要由细小针状马氏体组成, 由于高能量激光辐照, 材料表面温度高, 升温快, 组织转变是在极大的过热度和过冷度的非平衡状态下进行的。原有的珠光体转变为奥氏体, 随后各种合金元素存在扩散和迁移现象, 但与常规热处理相比, 扩散时间远远不足, 使其各部分的马氏体转变温度有很大的差异, 冷却后形成细小马氏体和残余奥氏体。同时, 极高的过热度造成奥氏体晶粒的形核率大大提高, 致使相变改性层组织非常细小均匀, 呈针状。从图中可以看出, 经横流激光器处理后, 激光功率为 1050 w 的试样 CE 的组织比功率为 750 w 的试样 CB 的更加细密, 随激光功率的增加晶粒更为细化。

## 2.2 能量密度对耐蚀性能的影响

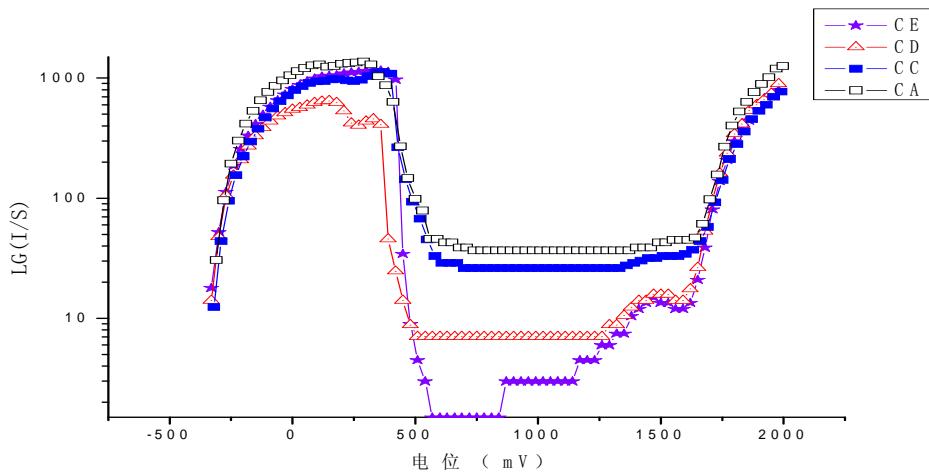


图 2 硫酸浓度为 0.5% 时的阳极极化曲线  
Fig. 2 Sulfate concentration of 0.5% of the polarization curves

经过渗碳激光复合改性处理后的试样在浓度为 0.5mol/L 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中的阳极极化曲线见图 2, 基体的极化实验在电位为 -50mV 时, 电流为 181.7mA; 电位为 -30 mV 时, 对应

电流超过 200 mA，恒电位仪无法测出。由此可知，复合改性处理后试样的耐酸性比较基体有很大提高。由图分析可知，激光能量密度的改变对维钝电流密度和稳定钝化范围有很大影响，试样的激光能量密度越大，其致钝电流密度越小，越易钝化。因此，激光能量密度越高，其耐酸性能越好。

### 2.3 XRD 物相分析

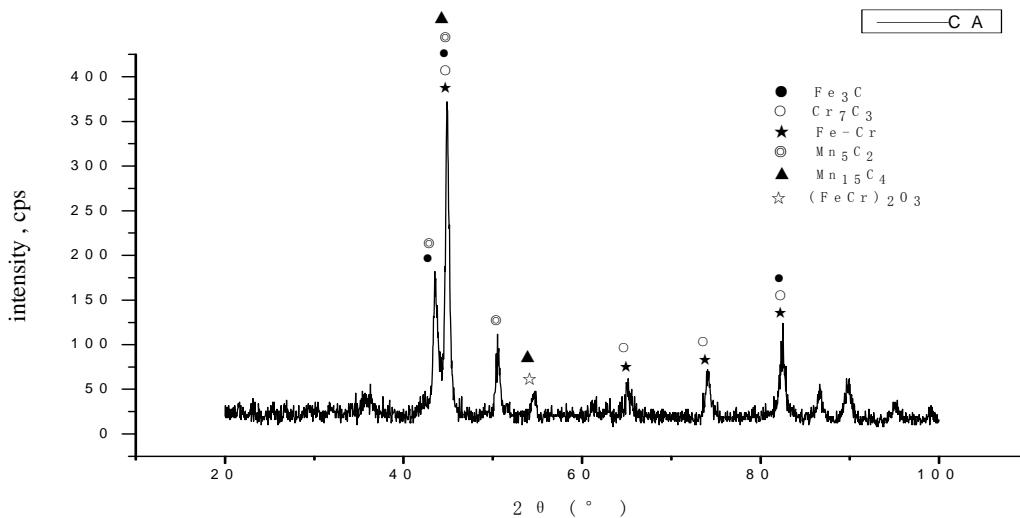


图 3 渗碳激光复合改性处理后试样 CA 的 XRD 物相分析

Fig.3 After carburizing and laser carburizing, the XRD phase analysis of the sample CA

X 射线衍射分析结果如图 3 所示，激光处理后的试样产生了新相，如强化相 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>、(FeCr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>能显著提高钢的抗氧化性能，钢中残留的 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>有阻止 A 晶粒长大的作用，同时 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>具有高硬度，是硬质相，对于硬度的提高有巨大的贡献。(FeCr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(铬铁氧化物)是裸露的 20CrMnTi 钢表面与氧气接触的产物，在其表面形成的这层致密(FeCr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜，即钝化膜，具有一定的电阻，在内陆环境下，这层钝化膜能阻止 O<sub>2</sub>向合金内部进一步渗透，即使钝化膜受损，也能很快地在空气中愈合与再生，因而起到防蚀的功能。此外，Fe<sub>3</sub>C 是马氏体上弥散分布的 M<sub>3</sub>C 渗碳体，是析出相，不是未溶碳化物，起弥散沉淀强化的作用，对马氏体强度的提高起到了重要作用。

## 3 结论

- 1) 改性层的组织为：针状马氏体+碳化物+残余奥氏体。
- 2) 经渗碳激光复合改性处理后的试样，其耐蚀性能均比基体要好。用不同的激光功率对渗碳后的试样进行扫描时，耐蚀性能大致随能量密度的增大而增加。
- 3) X 射线衍射分析得出，激光处理后的试样产生了新相，如强化相 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>、(FeCr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等。Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>是硬质相，具有高硬度，对于硬度的提高有巨大的贡献。(FeCr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的存在，可形成一层致密的钝化膜，从而提高了钢的耐蚀性。Fe<sub>3</sub>C 是马氏体上弥散分布的 M<sub>3</sub>C 渗碳体，是析出相，起弥散沉淀强化的作用，对马氏体强度的提高起到了重要作用。

### 参考文献

- [1] 杨柳青,丁阳喜.激光相变硬化技术的研究现状及进展.江西:华东交通大学机电工程学院,2006.
- [2] 王从曾.激光淬火技术的应用现状及发展.北京:北京工业大学,2004.
- [3] 刘庄,吴肇基,吴景之等.热处理过程的数值模拟[M].北京:科学出版社,1995.59~73.
- [4] Jaroslav Mackerle.Finiete element analysis and simulation of quenching and other heat treatment process A bibliography (1976-2001).Computational Materials Science, 2003,27.
- [5] Sagaro R,Ceballos J S,Mascarell J,et al.Tribological Behaviour of Line Hardening of Steel U13A with Nd; YAG Laser. Revista de Metalurgia(Madrid ),1999,35(3):166~172.
- [6] Ouyang Jiahua,Li Xiadong, Pei Yutao.Structureand Properties of Laser Quenched 4Cr13 Steel.Chinese Journal of Laser,1993,B2(5):475~480.

## Study on Corrosion Resistant of the Surface of 20CrMnTi Steel by Carburizing and Laser Transformation Hardening

Li Gang, Xiang Jun, Shen Xiaoming

School of Materials, Liaoning University of Engineering and Technology, Fuxin, Liaoning  
(123000)

### Abstract

On the surface of 20CrMnTi steel by carburizing and laser carburizing, the changing-quality zone of 20CrMnTi steel were got through researching the influences of different laser-energy-density on its microstructure and corrosion resistant properties after carburizing (the carburizing temperature 950°C, the preserving time2h). The experiment showed that, increasing laser-energy-density could refine the micro-structure. When therelation curve of laser power was 1050w, Corrosion resistance was improved apparently.

**Keywords:** 20CrMnTi steel; laser transformation hardening; micro-structure; corrosion resistant