

# HT250 激光表面硬化的组织及性能研究

贾金凤, 龚俊, 宁会峰, 阎相忠

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**采用宽带激光扫描,通过改变激光功率( $P$ )和扫描速度( $v$ )对灰铸铁 HT250 进行激光表面淬火硬化,对淬硬层深度、硬化层微观组织和力学性能进行分析。试验结果表明:当  $P=2.5\text{ kW}$ 、 $v=20\text{ mm/s}$  时,硬化层深度达  $0.84\text{ mm}$ ,表面硬度达  $64\text{ HRC}$ ,硬化层组织主要为分布较均匀的细针状马氏体组织。利用失重法进行表面耐磨性试验,激光处理试样的失重率为  $0.00041\%$ 。

**关键词:**激光表面硬化;硬化层;HT250;耐磨性

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2019.10.049

中图分类号: TG156.33

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2019)10-0203-03

## Study on Microstructure and Properties of HT250 by Laser Surface Hardening

JIA Jinfeng, GONG Jun, NING Huifeng, YAN Xiangzhong

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** The gray cast iron HT250 was laser surface hardening by using broadband laser scanning with different laser power ( $P$ ) and scanning speed ( $v$ ), the depth, microstructure and mechanical properties of the hardened layers were analyzed. The results show that, when  $P=2.5\text{ kW}$ ,  $v=20\text{ mm/s}$ , the hardened layer depth is  $0.84\text{ mm}$ , the surface hardness is  $64\text{ HRC}$ , and the microstructure of the hardened layer is mainly composed of homogeneous needle-like martensite. The wear resistance is tested by the weight loss method, and the weight loss rate of the laser treated sample is  $0.00041\%$ .

**Key words:** laser surface hardening; hardened layer; HT250; wear resistance

激光表面淬火技术自 20 世纪 70 年代问世以来,以加热速度快、淬火变形小、工件淬火后可立即投入生产应用等优点,并作为一项绿色环保工艺技术,迅速成为应用最广的一种激光热处理工艺。灰铸铁价格低、减震性能好、生产工艺简单、应用广泛,但硬度低、组织疏松、耐磨性差等缺点限制了其使用寿命<sup>[1-4]</sup>。本文采用宽带激光扫描,通过改变激光功率和扫描速度对灰铸铁 HT250 进行激光表面淬火硬化,并对淬火后的微观组织和性能指标进行分析,最终确定 HT250 激光表面淬火硬化的最佳工艺参数,为灰铸铁 HT250 激光表面硬化工艺提供试验依据。

## 1 试验材料与方法

试验材料从某机床厂生产的灰铸铁 HT250 上

切取,尺寸为  $100\text{ mm}\times 60\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ ,材料化学成分如表 1 所示。基体原始硬度为  $143\sim 176\text{ HV}$ 。试样表面用丙酮清洗风干,用碳素墨水+石墨粉进行预处理,目的是提高灰铸铁 HT250 表面对  $\text{CO}_2$  激光的吸收率。

表 1 灰铸铁 HT250 的化学成分(质量分数,%)  
Tab.1 Chemical composition of the gray cast iron HT250 (wt%)

C	Si	Mn	S	P	Fe
3.12	1.79	0.21	0.076	0.053	余量

为了得出激光表面淬火 HT250 的最佳工艺参数,本试验根据激光淬火硬化工艺设计理论,查阅有关铸铁激光淬火工艺研究资料,在参考前人研究文献的基础上<sup>[5-8]</sup>,确定采用宽带激光扫描,光斑尺寸( $D$ )为  $10\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 。

采用 DL-HL-T10000B  $\text{CO}_2$  激光器对 HT250 进行表面淬火硬化,试验工艺参数及对应的试样编号见表 2。淬火后用线切割沿垂直激光扫描方向取金相试样,试样尺寸为  $25\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ ;对试样淬火横截面进行磨平抛光风干,用 4%的硝酸酒精溶液擦拭 3~5 次;采用 MEF-3 广视场万能金相显微

收稿日期:2017-06-23

作者简介:贾金凤(1985-),女,河南周口人,硕士,主要研究方向为机床导轨表面处理工艺;电话:13659325781;

E-mail:lois\_jia@yeah.net

通讯作者:龚俊(1963-),男,四川中江人,研究员,硕士,主要研究方向为精密制造装备与数控加工技术;电话:0931-2758280;

E-mail:gongjdx@163.com

表2 激光表面淬火硬化工艺参数及对应的试样编号  
Tab.2 Laser surface hardening process parameters and corresponding specimen number

激光功率 /kW	扫描速度 /( $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
	15	20	25
2.0	1 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
2.5	2 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>

镜、JSM-6700F 扫描电镜和 EM-2010 透射电镜观察显微组织,并测量硬化层深度;使用 D8-ADVANCE X 射线衍射仪对试样进行 X 射线分析。采用 HRD-150 硬度计测试表面硬度,加载载荷为 588 N,保载时间为 5 s。用 HR-60A 显微硬度计测量淬火硬化层横截面的显微硬度,加载载荷为 2.94 N,保载时间为 10 s。在 MGW-02 高频往复疲劳摩擦磨损试验机上测试最佳工艺参数下试样的耐磨性。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 微观组织分析

图 1 为  $P=2.5\text{ kW}$ 、 $v=20\text{ mm/s}$  时,试样 4<sup>#</sup> 横截面的微观组织光镜照片。从试样横截面表面到内部可依次分为相变硬化区、热影响区和基体 3 个部分。其中图 2 (a)、(b) 分别为试样 4<sup>#</sup> 在  $\times 100$  和  $\times 500$  SEM 下相变区、热影响区及基体区的石墨形貌和分布照片。对比发现,相变硬化区石墨的分布密度及石墨尺寸均比基体中的小。观察图 3 相变硬化区的显微组织照片发现,部分未溶石墨在高温下有“球化趋势”<sup>[9]</sup>。这是因为在激光热处理过程中,大部分石墨

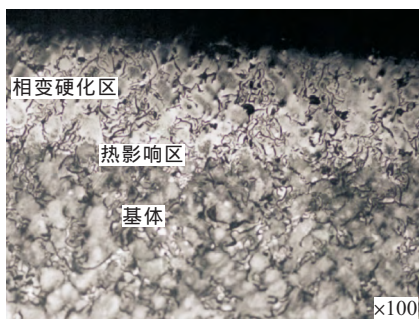


图 1 试样 4<sup>#</sup> 横截面的微观组织

Fig.1 Microstructure of cross section of sample 4<sup>#</sup>

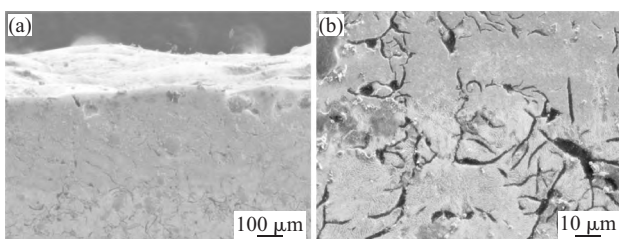


图 2 石墨形貌及分布

Fig.2 Graphite morphologies and distribution

在高温作用下溶解扩散至周围奥氏体中,在随后的急冷过程中,奥氏体晶粒因来不及长大,最终发生固态相变,通过无扩散转变为细小的马氏体组织;而且球化石墨在提高材料硬化层的强度和韧性方面都有很大的作用。热影响区的石墨几乎不发生溶解或扩散,因而热影响区的石墨尺寸及分布密度与基体无异。

由图 3 试样 4<sup>#</sup> 相变硬化区的显微组织光镜照片。可看出,相变区组织主要为针状马氏体、少量残余奥氏体及部分未溶条片状石墨。在激光热处理过程中,激光加热温度低于材料熔点温度,原子之间只发生固态相变,奥氏体组织转变为马氏体组织,相变硬化区针状马氏体晶粒较小,分布较均匀,这是因为激光快速加热下,灰铸铁 HT250 在实现自冷的过程中,材料表面与基体之间形成极大过冷度,奥氏体晶粒来不及长大,导致奥氏体形核数目剧增,因而最终会得到分布较均匀的针状马氏体组织。

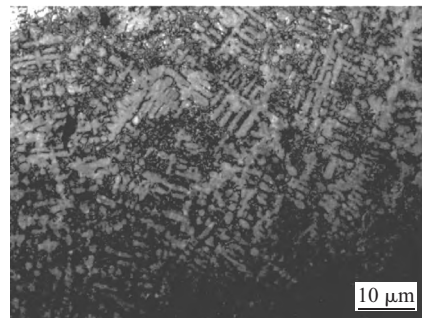


图 3 试样 4<sup>#</sup> 相变硬化区组织

Fig.3 Microstructure of transformation hardened zone of sample 4<sup>#</sup>

### 2.2 淬火硬度分析

用 HRD-150 硬度计测量激光淬火试样的表面硬度,取平均值。用 MEF-3 广视场万能金相显微镜测量硬化层深度,取最大值。相应工艺参数下激光表面淬火硬化层表面硬度和硬化层深度的测量结果见表 3。沿测量硬化层横截面深度方向测维氏硬度,并绘制显微硬度分布曲线图,相同激光功率、不同扫描速度下的硬化层维氏硬度分布曲线如图 4、图 5 所示。

$P=2\text{ kW}$  下,试样 5<sup>#</sup> 表面硬度值过小,无实用意义;测量其维氏硬度,结果显示其维氏硬度值与基体硬度相差很小,说明  $P=2\text{ kW}$ 、 $v=25\text{ mm/s}$  时,灰铸铁 HT250 没有硬化效果。这是因为激光输出功率小,扫描速度快,激光辐照能量不足,金属达不到相变临界温度或相变时间过短,材料不足以实现奥氏体转

表3 不同工艺参数下激光表面淬硬层表面硬度及硬化层深度

Tab.3 Surface hardness and hardened layer depth of laser surface hardening layer under different technological parameters

试样编号	激光功率 $P/kW$	扫描速度 $v/(mm \cdot s^{-1})$	表面硬度 (HRC)	硬化层深度 /mm
1 <sup>#</sup>	2.0	15	50	0.674
2 <sup>#</sup>	2.5	15	56	1.324
3 <sup>#</sup>	2.0	20	56	0.542
4 <sup>#</sup>	2.5	20	64	0.967
5 <sup>#</sup>	2.0	25	-	-
6 <sup>#</sup>	2.5	25	55	0.573

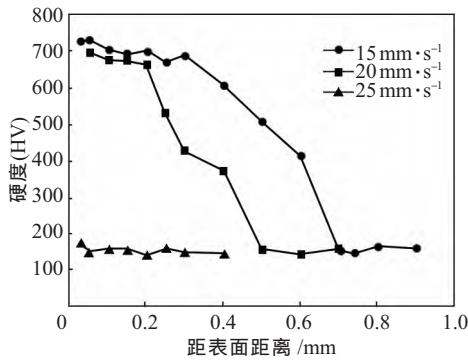


图4  $P=2.0 kW$  下硬化层硬度分布

Fig.4 Hardness distribution of hardening layer with  $P=2.0 kW$

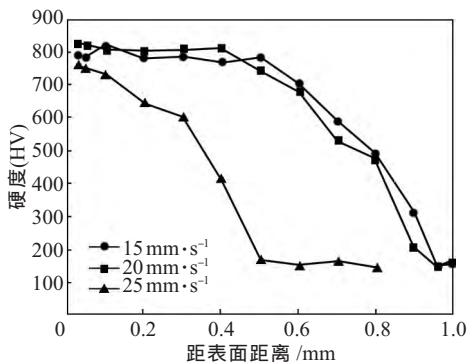


图5  $P=2.5 kW$  下的硬化层硬度分布

Fig.5 Hardness distribution of hardening layer with  $P=2.5 kW$

变,没有马氏体相变的发生,故而淬火硬化效果不明显。试样1<sup>#</sup>和试样3<sup>#</sup>的表面硬度分别为50HRC和56HRC,都达到了较好的硬化效果,但相对硬化层深度较浅。

$P=2.5 kW$ 下,试样2<sup>#</sup>出现许多凸起和麻坑。说明当 $P=2.5 kW, v=15 mm/s$ 时,灰铸铁HT250表面微熔。这是由于激光输出功率大,扫描速度相对较慢,试样表面过热,从而产生“热积蓄”,由“热积蓄”效应引起表面微熔。

对比各工艺参数下灰铸铁HT250试样的表面淬火硬度分析结果,可看出,当 $P=2.5 kW, v=20 mm/s$ 时,试样4<sup>#</sup>硬化层硬度高达823.7HV,淬火深度达0.84mm。从淬火试样的表面淬火形貌、表面硬度及显微硬度综合分析,试样4<sup>#</sup>的激光表面淬火效果相对较好。

### 2.3 耐磨性分析

分别将激光淬火参数下 $P=2.5 kW, v=15 mm/s$ 和 $P=2.5 kW, v=20 mm/s$ 的灰铸铁HT250试样,在MGW-02高频往复疲劳摩擦磨损试验机上执行摩擦磨损试验。加载载荷 $P$ 为100N,频率 $f$ 为20Hz,行程为8mm,试验环境温度为20℃,试验时间为90min,试验过程中采用机床导轨油润滑。试验前后磨损试样用丙酮在超声波清洗机中清洗并风干,用精度为0.1mg的电子天平进行称重,计算试样磨损量,利用失重法来评定两组参数下的耐磨性,并与基体进行耐磨性对比。试样磨损后的磨损量如表4所示。从表中可看出,试验条件相同,激光淬火处理试样的磨损量远低于普通处理试样的磨损量,试样2<sup>#</sup>失重较多,磨损量较大。

表4 HT250试样的磨损量

Tab.4 Wear loss of HT250 sample

试样编号	磨损前/g	磨损后/g	变化量/g	失重率(%)
2 <sup>#</sup>	8.3562	8.3511	0.0051	0.00061
4 <sup>#</sup>	8.3541	8.3507	0.0034	0.00041
基体	8.1957	8.1856	0.0101	0.00123

图6为 $P=2.5 kW, v=15 mm/s$ 和 $P=2.5 kW, v=20 mm/s$ 两组激光参数下,灰铸铁HT250试样在摩擦磨损试验过程中测得的摩擦系数随时间的变化曲线。从图中可以看出,试样4<sup>#</sup>进入接触磨损后,摩擦系数一直稳定在0.060~0.068之间。试样2<sup>#</sup>在磨损

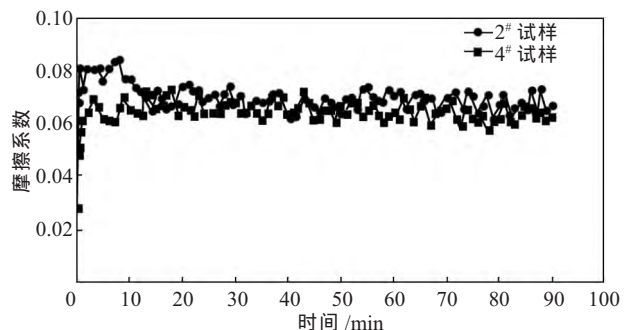


图6 HT250试样在磨损试验过程中摩擦系数随时间的变化曲线

Fig.6 The curves of friction coefficient with time of HT250 sample during wear test (下转第209页)

为5h。

### 3 结论


(1) 随热处理温度从260℃提高到380℃或热处理时间从2h延长到8h,机械壳体的磨损体积先减小后增大、腐蚀电位先正移后负移,磨损和腐蚀性能都先提高后下降。

(2) 当热处理温度适当提高到320℃时,挤压成型的新型镁锰钛机械壳体的磨损体积较260℃热处理时减小了44%,腐蚀电位较260℃热处理时正移了182mV。

(3) 当热处理时间适当延长到5h时,挤压成型新型Mg-Mn-Ti机械壳体的磨损体积较2h热处理时减小了41%,腐蚀电位较2h热处理时正移了162mV。

(4) 为了获得最佳的磨损和腐蚀性能,挤压成型新型Mg-Mn-Ti机械壳体的热处理温度不宜过低也不宜过高、热处理时间不应该过短也不应该过长,分别优选为320℃、5h。

### 参考文献:

- [1] 夏天,杨干群. 摩托车发动机左曲轴箱体浇排系统的设计与优化[J]. 铸造,2013,62(9):885-889.
- [2] 张凯,李国栋,车展展,等. 履带拖拉机传动箱壳体滑杆孔加工工艺研讨[J]. 湖南农机,2012,39(3):123-124.
- [3] 王正全,刘毅,陈春雷,等. 大功率履带拖拉机传动箱壳体深孔加工[J]. 农业工程,2013,3(1):75-77.
- [4] 赵正. 箱体类机匣加工工艺研究—以某机前支承壳体加工为例[J]. 科技创新导报,2016,13(10):17-18.
- [5] 蔡安克,许海铎,冯志明,等. 拖拉机变速箱壳体的快速铸造工艺研究[J]. 铸造,2016,65(1):92-94.
- [6] 徐臻臻,赵玉垒. 某拖拉机变速箱壳体断裂强度有限元分析[J]. 农业机械,2013,56(28):145-147.
- [7] 韩平,赵国,马丽丽,等. 农机变速箱壳体生产线结构复杂性评价[J]. 农机化研究,2014,36(5):94-96.
- [8] 田增强,郑德聪,郭玉明,等. 柠条收割机变速箱壳体有限元分析[J]. 农机化研究,2013,35(12):63-66.
- [9] 韦海,邓良智,黄林凯,等. 装载机变速箱壳体模态分析与测试[J]. 装备制造技术,2015,43(5):90-91.
- [10] 李忠厚,郭腾腾,宫学博,等. 磁控溅射镀钛提高AZ31镁合金耐磨耐蚀性能的研究[J]. 表面技术,2014,43(6):121-124.
- [11] 谭雪霏,张新,赵春波,等. 钛离子注入对AZ31镁合金表面力学性能及耐蚀性的影响[J]. 轻合金加工技术,2011,39(8):45-49. 

(上接第205页) 试验开始到磨损时间为10min时,摩擦系数较大,约在0.082左右上下浮动,在10min之后试样2#的摩擦系数进入相对稳定阶段,在0.064~0.071之间浮动。这是因为试样2#微熔后表面粗糙度增大,表面凸起部分与配磨面之间形成点面接触模式,凸起部分承载了全部载荷,且微熔区最表层硬度较低,较大的点面接触不利于润滑膜的形成<sup>[10]</sup>,因而试样2#失重较快,磨损严重。随着时间的增加,磨合阶段表面较高的凸起部分被磨平,与对磨件接触,摩擦面积逐渐增大,磨损速率变缓,摩擦系数稳定,进入稳定磨损阶段。

### 3 结论

(1) 灰铸铁HT250激光表面淬火硬化最佳工艺参数: $P=2.5\text{ kW}$ 、 $v=20\text{ mm/s}$ 、 $D=10\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 。此时,硬化层深度为0.84mm,硬化层硬度高达823.7HV,失重率为0.00041%。

(2) 经激光表面淬火处理后,灰铸铁HT250试样横截面可分为相变硬化区、热影响区和基体区3部分区域。硬化区石墨有球化现象,显微组织主要为细针状马氏体、少量残余奥氏体及部分未溶石墨;热影响区石墨形状及尺寸与基体无异。

### 参考文献:

- [1] 姜江,彭其凤. 表面淬火技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 吴培桂,陈莹莹,张光钧,等. 绿色热处理工艺—激光热处理[J]. 金属热处理,2010,35(12):29-33.
- [3] 邱星武,李刚,陈华,等. 激光相变硬化技术发展现状及展望[J]. 热处理技术与装备,2009,30(1):4-7.
- [4] 郭鸿岐. 铸铁[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1982.
- [5] 罗玉梅,樊湘芳. 球墨铸铁QT600-3激光淬火工艺研究[J]. 热加工工艺,2005,44(3):50-51.
- [6] Hwang J H, Kim D Y, Youn J G, et al. Laser surface hardening of gray cast iron used for piston ring [J]. Journal of Materials Engineering & Performance,2002,11(3):294-300.
- [7] 吴钢,宋光明,黄婉娟. 激光淬火工艺参数对层深及硬度影响敏感性研究[J]. 激光技术,2007,31(2):163-165.
- [8] Komanduri R, Hou Z B. Thermal analysis of laser surface transformation of process hardening-optimization parameters [J]. International Journal of Machine Tool & Manufacture, 2004,44(9):991-1008.
- [9] 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.
- [10] Slatter T, Taylor H, Lewis R, et al. The influence of laser hardening on wear in the valve and valve seat contact [J]. Wear,2009,267(5/8):797-806. 