

# 加硼铸铁经激光热处理后的组织与耐磨性

卜宪章 路长琴 刘要武

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 本文研究了加硼铸铁激光热处理后的组织和耐磨性。结果表明,其激光硬化组织由隐针马氏体、点及片状碳化物和残余奥氏体组成。这种组织具有优异的性能,可使加硼铸铁的耐磨性提高6倍以上。

## 1 前言

加硼铸铁是交通运输及农机行业常用的一种材料,多用于各种柴油机、汽油机的缸套。而提高材料的耐磨性、延长缸套的使用寿命则是提高整机质量的重要环节。因此它一直是人们多年来所关注的重要课题。激光热处理具有很多优异的特点,并被普遍认为是解决提高耐磨性的有效途径。为此,研究激光处理后材料的组织结构和耐磨性,有着极为现实的意义。本文分析了加硼铸铁经激光热处理后的组织特征和耐磨性。

## 2 试验方法

### 2.1 样品的制备

试验用的样品尺寸为 10mm×10mm×20mm,预先经过时效处理。其化学成份如表 1 所示。

表 1 化学成份 (%)

成份	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	P	S	B
含量%	2.8 ~3.2	1.6 ~2.6	0.8 ~1.0	0.2 ~0.4	0.4 ~0.6	0.8 ~1.2	<0.15	<0.10	0.035 ~0.060

### 2.2 激光热处理设备与工艺

试验设备采用千瓦级准封离式 CO<sub>2</sub> 连续激光器,输出功率为 1000W,波长为 10.6μm,光束质量为多模。样品在激光处理前,表面涂吸能涂层,处理工艺为:功率密度 80W/mm<sup>2</sup>~

150W/mm<sup>2</sup>;扫描速度 7mm/sec~12mm/sec。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 硬度与耐磨性

硬度是在 II MT-3 型显微硬度计上测定的,加载荷 100g。测试结果如图 1、图 2 所示。

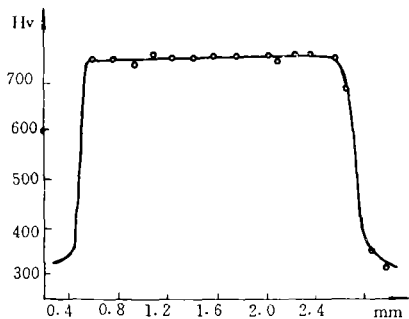


图 1 沿带宽硬度分布

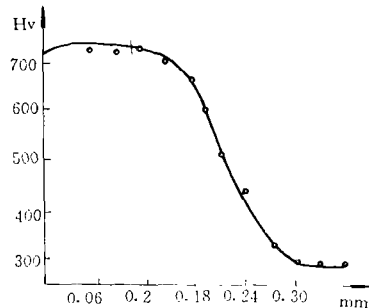


图 2 沿层深硬度分布

从测试结果可以看出,在上述处理工艺条件下,经激光处理的部位的硬度显著提高,其表面硬度由原始的 Hv320 左右提高到 Hv742 左右,硬化层深大于 0.2mm。

在 MM200 型磨损试验机上做的不同激光硬化面积比例的无润滑磨损试验,加载 20kg,磨损 20 分钟,实验结果如图 3 所示。

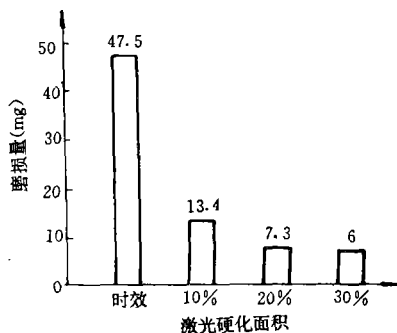


图 3 不同硬化面积比例的磨损量

从实验结果可以看出,经激光处理后的耐磨性明显提高。当激光硬化面积从 10% 提高到 20% 时,耐磨性能的提高较为显著,而从 20% 增加到 30% 时其效果则不十分明显。在选择 20% 以上的硬化面积比例时,其耐磨性可提高 6 倍以上。

分析磨损样品表面的磨损状态,其破坏机理是磨粒和粘着磨损的复合类型。依据粘着理论,两表面相对滑动摩擦,当其接触面的凸凹不平部分之间的压力足够高以致引起塑性变形或粘合时,就发生粘着磨损。而且当相互摩擦的两个表面非常光滑或处于非氧化状态,那么这两个接触面就易于粘合。而激光硬化部位由于具有高温氧化膜而使接触面减少,并起到了一定的润滑作用,所以其抗粘合磨损性能得以提高。另外由于激光硬化面积只占总面积的一定比例,

其硬化部位形成了一个耐磨的硬化骨架,承受磨损,减轻了未经激光硬化处理部位的磨损程度,而未硬化部位做为软的基体又可使一些磨掉的碎屑镶嵌进去,从而进一步减轻了磨粒磨损。与此同时激光硬化区的高硬度,具有优良耐磨性的显微组织以及未经处理基体中石墨的润滑也在发挥着作用。因此,使其耐磨性能得以显著提高。

### 3.2 金相组织的特点

激光硬化区的显微组织特点决定了其具有强韧性结合的优异性能。

激光处理前的加硼铸铁原始组织如图 4 所示,在片状珠光体的基体上分布着片状石墨和断续网状的离异共晶碳化物。它的正常激光淬火组织如图 5 所示,为隐针马氏体、均匀分布的残余奥氏体以及点或片状碳化物所组成的基体上保持着原始组织片状石墨和共晶碳化物。



图 4 原始组织 400×



图 5 激光硬化组织 400×

在本文的实验条件下,得到的良好的激光硬化层按其横剖面组织可分为三个组织区,即表层极薄的晶间微熔区、中层的隐针马氏体区以及靠近基体的珠光体片残留区。

图 6 为表面晶间微熔组织的形貌,原枝晶间的离异共晶碳化物产生熔化,并以微细的共晶形式重新结晶,具有细小的枝晶和未熔的石墨。肉眼观察时,这种组织的表面光滑,微凸,并呈金属光泽较弱的白亮色,一般均可以此做为硬化质量优良的判据。这种组织的硬度极高,可达  $Hv_{0.1}800$  以上。



图 6 表面晶间微熔组织的形貌 400×

中层的隐针马氏体区和靠近基体处的珠光体片残留区的组织分别如图 5 和图 7 所示,皆为隐针马氏体、均匀分布的残余奥氏体以及点或片状碳化物所组成的基体上保持着原始组织片状石墨和共晶碳化物。二者的区别在于碳化物的形态有所不同。

可以看出,相变只在原珠光体领域内进行。相变区的微细点、片状碳化物还保持着原来的取向关系,显然是珠光体中的片状渗碳体并未完全溶解而形成的。高倍扫描电镜观察珠光体残留区的组织,如图 8 所示,外貌极似珠光体。但此处的硬度较高(约 Hv700),说明发生了马氏体相变。由于片状碳化物的阻碍作用,高温奥氏体及其随后的转变产物只能在渗碳体的片间形成,因而形成了极细的低碳马氏体,以至在更大的放大倍数下也不能被观察到。残余奥氏体也只能以极细小的形态分布在片状碳化物的周围,而低碳马氏体便集中于原铁素体片的中心处。可能正是由于珠光体片残留区的这种组织特点而抵消了片状碳化物的有害影响,使其具有类似中层隐针马氏体区的性能。

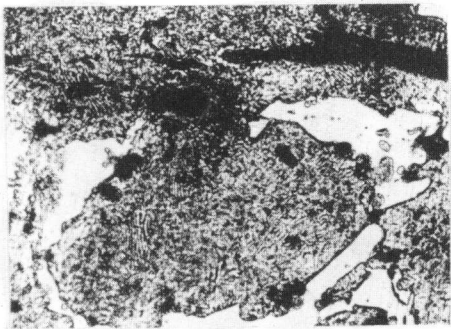


图 7 珠光体残留区组织 400×

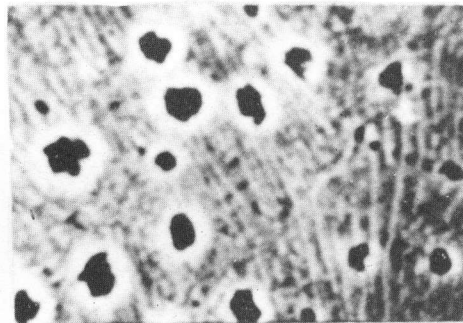


图 8 珠光体残留区的高倍形貌 2150×

上述三种组织区的差别,是由处理时硬化区从表至里的温度梯度而引起的。碳的扩散是随温度和保温时间而变化的。由于光束加热速度极快,奥氏体的形成温度很高,其成核率远大于其长大速度,致使起始晶粒极为细小。因保温时间极短,奥氏体晶粒来不及长大,残留碳化物的溶解和奥氏体成份的均匀化也极不充分。在随后的急冷中,这种极细小的,分布着未溶碳化物颗粒(或片)且含碳量极不均匀的奥氏体发生了相变,形成了这种特有的组织状态。这种组织具有优异的性能。

## 4 应用实例

在实验研究的基础上,对材料为加硼铸铁的内燃机车缸套进行了激光热处理,缸套内径为  $\Phi 240\text{mm}$ ,高度为 552mm,每个重 37 公斤。采用本文研究确定的工艺参数:功率密度  $80\text{W}/\text{mm}^2 \sim 150\text{W}/\text{mm}^2$ ,扫描速度  $7\text{mm}/\text{s} \sim 12\text{mm}/\text{s}$ ,以单螺旋图样扫描处理缸套内壁,处理面积约为 25%。激光处理后经精珩加工,然后装机考核。装机考核结果表明,激光处理缸套可提高使用寿命一倍以上,使缸套的运行公里从未经激光处理的 20 万公里(一个架修期)提高到 40 万公里以上。

## 5 结 论

1. 激光处理加硼铸铁,其表面最高硬度可达 Hv700 以上。当激光硬化面积在 20~30%时,其耐磨性能可提高 6 倍以上。

2. 加硼铸铁的激光硬化组织是由极为细小的、含碳较低的隐针马氏体,基本保持原珠光体取向的点、片状碳化物以及均匀分布的残余奥氏体所组成。而原始组织的片状石墨和碳硼化合物保持其原来形貌不变。这种组织有优异的性能。

3. 当激光工艺参数为功率密度  $80\text{W}/\text{mm}^2 \sim 150\text{W}/\text{mm}^2$ ;扫描速度  $u = 7\text{mm}/\text{sec} \sim 12\text{mm}/\text{sec}$  时;可以获得上述的优异组织和较高的耐磨性。

参加本项工作的还有关振中,李雨田等同志。

### 参 考 文 献

- [1] 长春光机所,《激光热处理译文集》,1985 年
- [2] 关振中等,《钢与铸铁的激光热处理》,1979 年
- [3] C. A. Stickels, *Met Trans*, 5(1974)865
- [4] J. A. Vaccor, *Metals Engineering*, 6(1973)42
- [5] 刘云旭,《金属热处理原理》,机械工业出版社,1981 年
- [6] 高彩桥,《材料的粘着磨损与疲劳磨损》,机械工业出版社,1989 年
- [7] [英]J. 霍林,《摩擦学原理》,机械工业出版社,1981 年

## Microstructure and Wearability of Boron Cast Iron after Laser Heat—treatment

Bu Xianzhang, Lu Changqin and Liu Yaowu

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

This paper deals with the microstructure and wearability of boron cast iron after laser heat—treatment. The results show that the microstructure of laser hardening consists of martensite, spheroidal and flake carbide and retained austenites. This structure has good property. The wearability of the boron cast iron increases by a factor of 6.