

# 农机用 65Mn 钢 激光表面处理后的组织与性能<sup>①</sup>

凌 刚<sup>②</sup> 李德玉 徐 杨 马铁柱 唐西南 周昌炽  
(机械工程学院) (清华大学)

**摘 要** 研究了农机用 65Mn 钢激光相变和激光熔凝处理后的显微组织和显微硬度。结果表明,显微组织由表面相变(熔凝)硬化区、过渡区和基体组成,硬化区是超细针状马氏体,显微硬度达 HV900~1 000。激光相变多道搭接扫描后在搭接区有明显的回火软化现象。

**关键词** 激光表面处理;显微组织;显微硬度

**中图分类号** TG156.99

## Microstructures and Properties of 65Mn Steel Under Laser Surface Treatment

Ling Gang Li Deyu Xu Yang Ma Tiezhu Tang Xi'nan Zhou Changchi  
(College of Machinery Engineering, CAU) (Tsinghua University)

**Abstract** The microstructure and micro-hardness of 65Mn steel under laser surface treatment, which can be used in agricultural machinery are analyzed. The results show that the microstructure consists of three parts: high hardness quench region from sample surface with super fine martensite, hardness transition region with the mixture of martensite, troostite and pearlite, and low hardness base region with pearlite. Micro-hardness is up to HV900~1 000 in high hardness quench region. Temper softening phenomena occur at the contact parts in condition of laser beam repeat scan.

**Key words** laser surface treatment; microstructure; micro-hardness

激光表面处理工艺具有能量密度高、加热冷却速度快和材料热变形小等特点,已广泛应用于机械零件的表面强化,但是在农机具加工上的应用还是一个空白<sup>[1]</sup>。笔者对农机典型材料 65Mn 钢进行激光表面强化处理,发现与常规淬火、回火处理相比,耐磨性能显著提高,显示了良好的应用前景<sup>[2]</sup>。为了正确掌握激光表面处理工艺参数,需要对采用不同激光工艺参数处理后的显微组织和显微硬度进行分析。

收稿日期:1996-08-26

①中国博士后基金资助项目

②凌 刚,北京清华东路 17 号中国农业大学(东校区)61 信箱,100083

## 1 实验方法

试样取自6 mm厚65Mn钢热轧板,采用HGL-81型2.5 kW二氧化碳激光器进行激光相变和激光熔凝处理,激光光斑尺寸为10 mm×1.8 mm,具体工艺参数如表1所示,并且采用第1种工艺参数

表1 激光表面处理工艺参数

类型	工艺序号	激光输出功率	激光扫描速度	能量密度*
		$P/\text{kW}$	$v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	$E/\text{J}\cdot\text{mm}^{-2}$
激光相变	1	1.4	600	17.8
	2	1.4	800	13.4
	3	1.4	1 000	10.7
激光熔凝	4	1.7	400	32.5
	5	1.7	600	21.6

\* 能量密度  $E=4P/\pi d v$

进行了多道搭接扫描实验,搭接量为2 mm,用JSM-35CF扫描电镜分析显微组织结构,用HX-200显微硬度计测量显微硬度。显微组织浸蚀剂为体积分数 $\varphi=4\%$ 的硝酸酒精。

## 2 实验结果与分析

65Mn钢热轧板为退火态,原始组织为珠光体+少量铁素体(图1)。经激光相变处理后,显微组织由表面完全淬火层、过渡层和基体组成。由于激光处理时加热和冷却速度极快,在表面完全淬火层形成了长度为5~20  $\mu\text{m}$ 的超细针状马氏体(图2(a));过渡层分为前过渡区和后过渡区,前过渡区是超细针状马氏体+屈氏体组织,后过渡区则是屈氏体+珠光体组织(图2(b));基体仍然为原始的珠光体+少量铁素体组织。

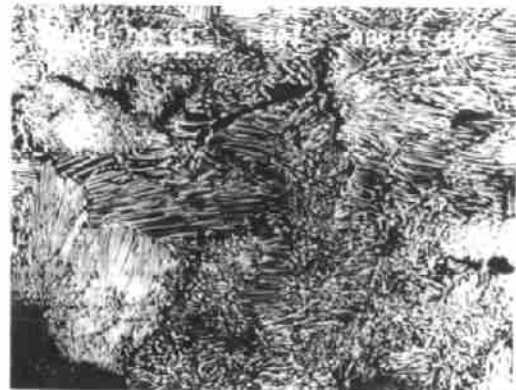


图1 65Mn钢的原始显微组织( $\times 2000$ )

随着激光扫描速度的降低(能量密度增加),马氏体有所粗化,淬火层宽度逐步增加。例如,当激光扫描速度从1 000降低到600  $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,马氏体针长度从10增加到20  $\mu\text{m}$ ,淬火层宽度从0.5增加到0.8 mm。与单道扫描相比,多道搭接扫描后搭接区的显微组织特征没有明显变化。

激光熔凝处理后的显微组织由表面熔凝层、完全淬火层、过渡层和基体组成。与激光相变处理相比,其最大特征是在表层形成了厚度为8~10  $\mu\text{m}$ 的熔凝组织(图3(a))。由于耐蚀性强,用 $\varphi=4\%$ 的硝酸酒精浸蚀不能显示其组织特征,在扫描电镜下看到的是一条黑色带状区域。完全淬火层的针状马氏体的长度明显增大,达到40  $\mu\text{m}$ 左右(图3(b))。

激光表面处理后的显微硬度如图4所示。根据其变化规律,可以分成3个区域:高显微硬度区、显微硬度急剧变化的过渡区和低显微硬度区,它们分别对应表面熔凝层(完全淬火层)、过渡层和基体。淬硬层的深度在0.5~0.8 mm之间;过渡区相对较窄,约为0.1~0.2 mm。工艺参数对表面淬硬层的显微硬度无显著影响,硬度均在HV900~1 000之间;激光相变处理的

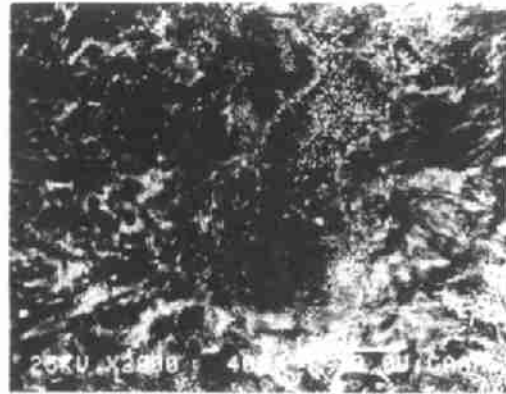
(a)表面完全淬火区( $\times 3\ 000$ )(b)过渡区( $\times 2\ 000$ )

图2 65Mn 钢经激光相变处理后的显微组织

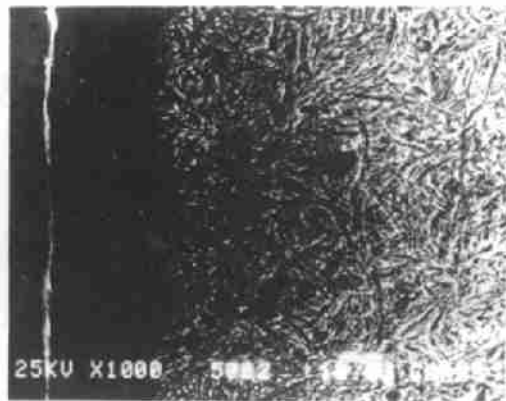
(a)表层熔凝区( $\times 3\ 000$ )(b)完全淬火区( $\times 1\ 000$ )

图3 65Mn 钢经激光熔凝处理后的显微组织

显微硬度略高于激光熔凝处理的显微硬度。基体显微硬度为 HV200~300。

图5示出激光相变多道搭接扫描后的显微硬度,其中A,B和C分别是第1、第2和第3道扫描区,D和E分别是第1与第2道扫描、第2与第3道扫描搭接区。可以看出,多道搭接扫描对显微硬度有显著的影响,搭接区(D,E)的显微硬度明显低于非搭接区(A,B,C)。第1道搭接区(D)的显微硬度已下降到 HV600 左右,第2道搭接区(E)的回火现象十分严重,已无稳定的硬化区,显微硬度呈持续下降的趋势。

激光相变和激光熔凝处理时,在极短的时间内把 65Mn 钢热轧板表面加热到奥氏体区以及熔点以上。当激光束离开后,高温的表层被处于低温的基体快速冷却,在表层至约

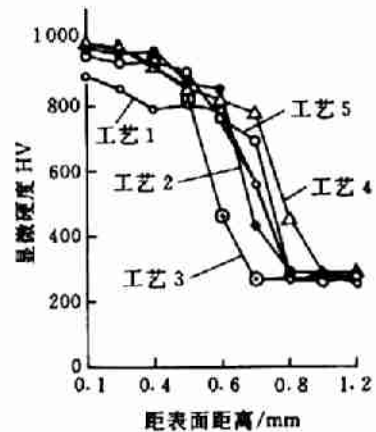


图4 65Mn 钢经激光表面处理后的显微硬度

1 mm 深的范围内显微组织和显微硬度发生显著变化,结果在最表层形成了高硬度的熔凝层及完全淬火层。由于马氏体尺寸的超细化,熔凝层及完全淬火层的硬度和韧性明显高于常规淬火处理。

65Mn 钢经常规淬火处理后的硬度为 HRC55~60,但马氏体脆性大,必须经回火处理才能使用。为了满足农机部件高韧性的需要,一般在 280~340 ℃ 回火,回火后的硬度在 HRC40~45 之间。从图 4 可见,激光表面处理淬硬层的显微硬度可以达到 HV900~1 000,相当于 HRC66~69,并且在淬硬层与珠光体基体之间有一个过渡层,使显微硬度能够得到较好的过渡。相对于常规淬火马氏体来说,超细化马氏体具有较高的韧性,不经回火就能直接使用,而珠光体基体又有十分优良的韧性,这样可以充分发挥表层高硬度和基体高韧性的优势。对农机部件来说,这是一种比较理想的组织结构,特别有利于提高材料的抗磨粒磨损性能。实验结果证明,与常规淬火、回火处理相比,激光表面处理后耐磨粒磨损能力可以提高 1~2 倍<sup>[2]</sup>。

在实际农机部件中,例如犁铧、中耕机锄铲、免耕播种机开沟器和深松机刀片等,需要强化的表面面积都比较大,而激光束的光斑长度相对较短,一般为 3~10 mm,因此经多道扫描才能满足需要,其中搭接扫描就是一种常用的工艺方法。在搭接扫描过程中,后一道扫描对前一道扫描不可避免地会有回火作用,它将对显微硬度和耐磨性产生重要影响。从图 5 可知,激光相变多道搭接扫描对非搭接区的显微硬度影响不大,但对搭接区的显微硬度却有着十分明显的影响。随着搭接道次的增加,搭接区的显微硬度持续下降,在本实验中,第 2 次搭接已无明显的硬化层。其原因除正常回火作用外,可能与 2 次扫描之间时间间隔较短,造成前一扫描道次冷却不彻底、温度较高有关。为了保证激光表面处理效果,在实际农机部件的处理过程中,选择适当的搭接量和防止部件温度过高是十分重要的。

### 3 结 论

1) 65Mn 钢经激光相变处理后的显微组织由表层超细针状马氏体、(马氏体+屈氏体+珠光体)过渡区和基体珠光体组成;激光熔凝处理后的显微组织由表层熔凝层、完全淬火层、过渡区和基体组成。

2) 65Mn 钢经激光相变和激光熔凝处理后均在表层形成厚度为 0.5~0.8 mm 的淬硬层,显微硬度在 HV900~1 000 之间。激光相变多道搭接扫描的搭接区有明显的回火软化现象。

### 参 考 文 献

- 1 赵文珍. 金属材料表面新技术. 西安:西安交通大学出版社,1992. 233~243
- 2 凌刚,徐杨,李德玉,等. 65Mn 钢激光表面处理后的磨粒磨损性能.(待发表)

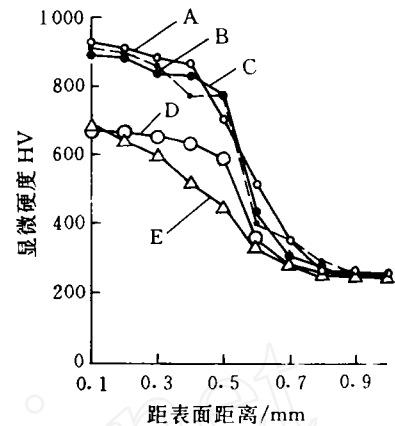


图 5 65Mn 钢经激光相变多道搭接扫描后的显微硬度