

文章编号: 1001-3806(2003)06-0500-03

## 模切辊激光表面淬火的研究\*

晁明举<sup>1</sup>, 杜远东<sup>2</sup>, 梁二军<sup>1</sup>, 余菊美<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 郑州大学物理工程学院, 郑州, 450052) (<sup>2</sup> 周口师范学院物理系, 周口, 466000)

**摘要:** 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光束对 50<sup>#</sup> 钢模切辊进行了激光表面淬火试验, 研究了淬火层的显微组织及硬度分布。结果表明, 50<sup>#</sup> 钢模切辊经激光表面淬火后, 硬化层组织由细小的位错马氏体及少量的残余奥氏体组成; 模切辊变形很小, 且表面硬度高, 整体硬度分布较为均匀, 能够达到技术要求。采用激光淬火技术对 50<sup>#</sup> 钢模切辊进行表面强化是可行的。

**关键词:** 激光表面淬火; 50<sup>#</sup> 钢; 模切辊; CO<sub>2</sub> 激光

**中图分类号:** TG156.99 **文献标识码:** A

## Investigation of laser surface hardening for mould-cutting roller

Chao Mingju<sup>1</sup>, Du Yuandong<sup>2</sup>, Liang Erjun<sup>1</sup>, Yu Jumei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Physical Science & Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450052)

(<sup>2</sup> Department of Physics, Zhoukou Normal College, Zhoukou, 466000)

**Abstract:** The laser surface hardening for mould cutting roller of 50 carbon steel is carried out using continuous wave CO<sub>2</sub> laser beam. The microstructure observation and hardness distribution testing in the cross section of the hardened layer are performed. The results indicate that the microstructure of the hardened layer of mould cutting roller quenched consists of the fine dislocated lath martensite and a small quantity of residual austenite. After laser surface hardening, the mould cutting roller possesses of small contraction distortion, high hardness, and uniform distribution of hardness. And hence using laser surface hardening process to modify the surface of mould cutting roller of 50 carbon steel is practicable.

**Key words:** laser surface hardening; 50 carbon steel; mould cutting roller; CO<sub>2</sub> laser

## 引言

随着国民经济的不断增长, 各行各业迅速发展, 对于包装工业, 瓦楞纸箱的需求量很大, 且异形纸箱的比例越来越高, 这就对纸箱模切技术提出了更高的要求。由于轮转模切可实现自动化、生产速度高、模切规格大、对双瓦纸箱模切效果也较好, 是目前国内包装企业较理想的模切手段。轮转模切机的重要部件——模切辊, 具有非常大的工作面。该工作面要求具有很高的硬度(HRC55 以上)和良好的耐磨性。由于工件较大, 工业上采用综合机械性能良好的中碳钢 50<sup>#</sup> 优质碳素结构钢。为获取高的表面硬度, 需进行表面硬化。传统的表面热处理工艺(火焰淬火、高频淬火等), 由于在热处理过程中加热时间

长, 工件往往产生较大的变形, 即使进行后续磨削加工, 因大的变形超过加工余量而导致模切辊报废。激光淬火具有变形很小的独特优点, 它已成功地应用于铸铁、碳钢、合金钢、高速钢等零部件的热处理中<sup>[1~6]</sup>, 但对模切辊进行激光热处理未见公开报道。将激光淬火技术应用于模切辊可能是解决变形问题的有效方法。作者直接对模切辊使用的材料 50<sup>#</sup> 钢无缝钢管进行激光淬火试验, 然后截取分析试样, 对其显微组织、硬化效果进行分析, 并根据试验结果, 选取最佳工艺参数, 对模切辊进行了大面积激光淬火, 效果良好。

## 1 实验材料、过程和测试方法

模切辊的材料使用 50<sup>#</sup> 优质碳素结构钢无缝钢管, 外径  $\varnothing 460\text{mm}$  (留有加工余量), 内径  $\varnothing 440\text{mm}$ , 外表面平均硬度 HV<sub>0.3</sub> 290。试验前将表面磨削加工, 并用丙酮清洗干净。为提高样品表面对激光能量的吸收, 对表面喷涂自制的白涂料<sup>[7]</sup>, 涂层厚度约为 50 $\mu\text{m}$ , 在室温下自然晾干。

\* 河南省高校创新人才基金及 2001 年度河南省杰出人才创新基金资助项目。

作者简介: 晁明举, 男, 1964 年 7 月出生。副教授, 博士研究生。主要从事激光热处理和激光熔覆技术研究。

收稿日期: 2002-12-30

试验所用激光器为 TJ-HL-5000 横流连续波  $\text{CO}_2$  激光器, 光束模式为多模。试验过程中保持激光功率 2.0 kW、离焦量 50 mm 不变(光斑直径  $\varnothing 5 \text{ mm}$ ), 聚焦光束垂直照射模切辊表面, 模切辊匀速转动, 同时光束以合适的速度沿轴向移动, 对模切辊表面进行螺旋线搭接扫描, 光束扫描速度分别为 8 mm/s, 12 mm/s, 16 mm/s 和 20 mm/s, 搭接率为 20%。

淬火后, 沿垂直于扫描方向进行线切割截取分析试样, 对试样抛光后经 4% 硝酸酒精溶液腐蚀, 在 MBA-21000 型金相显微镜上观察显微组织, 在 HXD-1000 显微硬度计上测试硬度。使用 HLM-100 手提式里氏硬度计测试模切辊表面硬度。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 模切辊表面硬度分布

图 1 是在激光功率 2.0 kW、扫描速度 12 mm/s 条件下, 经激光淬火后, 使用手提式里氏硬度计测试的模切辊表面其中一段沿轴向的硬度分布。由图可知, 各测试点硬度均在 HRC58 以上, 模切辊表面硬度分布比较均匀, 硬度满足技术要求。

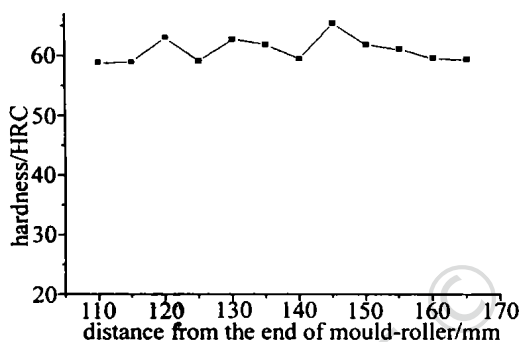


Fig. 1 Hardness distribution in the surface of the mould-cutting roller

### 2.2 多道淬火道的硬度分布

图 2 是多道搭接方式下, 试样横截面内激光淬火形状示意图。图 3 是距离表面 0.1 mm 垂直于扫描方向(平行于表面)横截面上多道淬火道的显微硬度分布, 测量宽度包含 3 个完整的激光淬火道(激光功率 2.0 kW, 扫描速度 12 mm/s)。从图中可

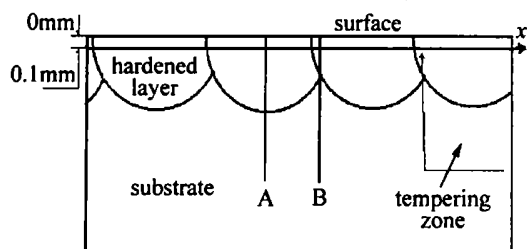


Fig. 2 Schematic diagram of cross section of specimen

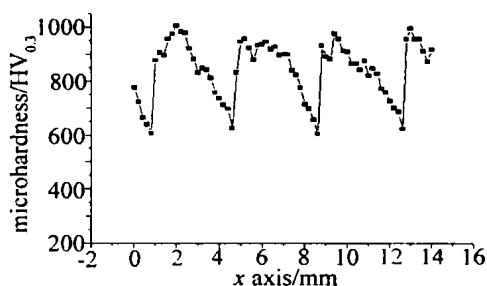


Fig. 3 Lateral microhardness distribution in the cross section

以看出, 3 道淬火道宽 12 mm, 硬度周期性地起伏变化; 由于多道搭接扫描, 每道淬火道分为淬硬区和回火区两部分, 淬硬区的硬度在 (770~1000)  $\text{HV}_{0.3}$  之间, 回火区的硬度在 (770~612)  $\text{HV}_{0.3}$  之间, 回火区宽度约 1 mm, 正是两道搭接的宽度。虽然回火区硬度较低, 但硬度仍基本满足使用要求。

### 2.3 单道淬火道沿深度方向的硬度分布

图 4a 是单道淬火道横截面中间部位沿深度方向的硬度分布曲线, 功率 2.0 kW, 速度分别为 8 mm/s, 12 mm/s, 16 mm/s, 20 mm/s, 图 4b 是相邻两道搭接部位沿深度方向的硬度分布曲线, 功率 2.0 kW, 速度 12 mm/s。从图 4a 可知, 硬化层的硬度沿深度方向的分布相当均匀, 在硬化层与基体之间不存在软化层; 在激光功率等其它参数不变条件下, 硬化深度随扫描速度的增加而减小, 而硬化层硬度随扫描速度的变化不大(扫描速度在 8 mm/s ~ 20 mm/s 间)。

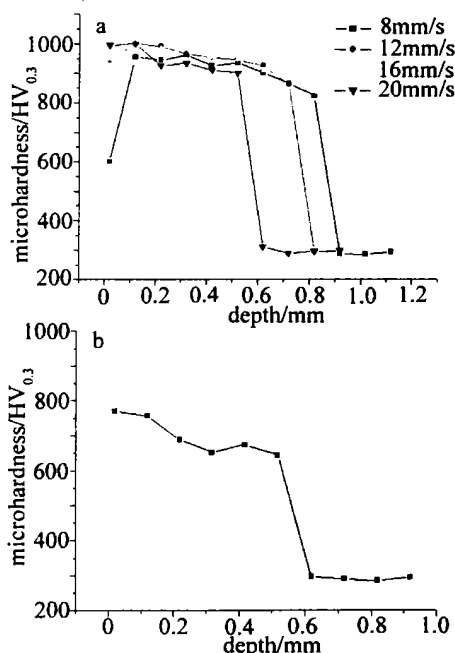


Fig. 4 Depth hardness profiles of a—middle part of single pass  
b—overlapping part of two single passes

扫描速度过低, 工件表面熔化层厚度增大, 表面硬度降低; 扫描速度过高, 硬化深度减小且单道硬化宽度也减小, 对扫描速度 20 mm/s 的试样进行硬度测试

(同样的搭接率)表明,相邻淬火道之间存在基本未淬硬的软带;适中的扫描速度在  $12\text{mm/s}$  左右。由图 4b 知,回火区的硬度较淬硬区有所降低,且硬化深度也小。这是由于受激光光束能量分布、光斑尺寸限制,单道淬火道横截面呈上平下圆的月牙形,多道搭接后,淬火层底部呈波浪形(见图 2),所以相邻两道搭接处硬化深度较浅( $0.5\text{mm}$ ,见图 4b)。由于激光淬火具有工件变形小的特点,对于硬化深度不大的问题,可以通过采取预留较小的精磨加工余量的方法予以解决。模切辊的激光淬火应用实例表明,工件变形很小,精磨加工余量可小于  $0.2\text{mm}$ ,最后精磨之后,即使是硬化较浅的邻道搭接处的硬化深度也可达  $0.3\text{mm}$ ,能够满足工况要求。

## 2.4 显微组织

模切辊材料是经过预先热处理的  $50^\#$  钢无缝钢管,原始组织是均匀且较为细小的珠光体+铁素体组织,经激光淬火,组织发生转变,且晶粒明显细化。图 5a 是淬火区与基体交界处的显微组织(激光功率  $P=2.0\text{kW}$ 、扫描速度  $v=12\text{mm/s}$ )。由图可知,淬火区组织与基体组织分界明显,图中上部是淬火区组织,晶粒明显细化。

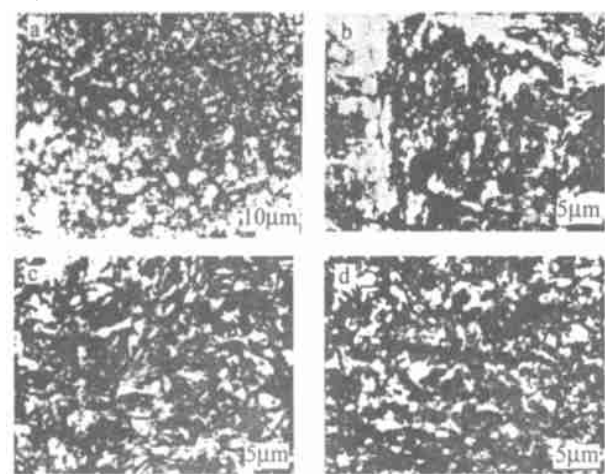


Fig. 5 Microstructure of a—interface between hardened layer and substrate, b—top zone in the hardened layer, c—intermediate zone in the hardened layer, d—tempering zone,  $P=2.0\text{kW}$ ,  $v=12\text{mm/s}$

图 5b 和图 5c 分别是在激光功率  $P=2.0\text{kW}$ 、扫描速度  $v=12\text{mm/s}$  条件下,硬化层横截面上部、中部的显微组织。由图可知,硬化层内没有明显的组织分层,整体组织比较均匀,这正是硬化层硬度沿深度方向分布均匀的原因(见图 4a)。硬化层组织主要由细小的位错马氏体和隐晶马氏体及少量的分布在晶界的残余奥氏体组成,与基体的显微组织相比,晶粒内亚结构更加细小。亚结构细化,位错密度得以提高;由于细晶马氏体的碳的高饱和度,使得硬化

层的硬度得到大幅度提高<sup>[8]</sup>。在单道淬火道中部,硬化层深度达  $0.7\text{mm}$ ,与硬度测量结果相一致(见图 4a)。经预先热处理的  $50^\#$  钢,由于原始组织细小,在激光快速加热过程中,珠光体、铁素体能够在短时间内奥氏体化,且由于过热度极大造成相变驱动力很大,奥氏体不但在组织缺陷、晶界处成核,而且在铁素体晶粒内成核,形核率增大,形成超细奥氏体晶粒。由于加热速度极大,碳还未扩散,奥氏体就在随后的急冷过程中转变为马氏体,因而硬化层的组织主要是由具有碳的高饱和度的细晶马氏体组成,硬化层具有很高的硬度。在激光淬火过程中,由于热量由表面向内部传输,表面温度最高,基体内部温度最低,沿深度方向存在着大的温度梯度,因而在深度更大的热影响区,由于温度达不到奥氏体化温度,且经预先热处理的  $50^\#$  钢的已进行回火,故不发生组织的相变<sup>[8]</sup>,所以在硬化层和基体之间没有软化层(见图 4a 和图 4b)。

图 5d 是在激光功率  $P=2.0\text{kW}$ 、扫描速度  $v=12\text{mm/s}$  条件下,相邻两道搭接处回火区的显微组织。由于激光光束能量密度中心高边缘低,且前道扫过后,工件表面的涂料已经烧掉,所以当后道光束照射在前道扫过的区域时,搭接带回火区内各处吸收能量不同,产生不同的效果。从光束边缘到光束中心,能量逐渐升高,搭接带回火区相应位置的温度逐渐升高,其相应组织依次为回火马氏体、回火屈氏体和回火索氏体<sup>[8]</sup>,相应位置的硬度也逐渐降低(参见图 3)。图 5d 是回火区内邻近前道处的回火马氏体组织。在回火区后沿,由于工件表面涂料作用的原因,工件能够吸收足够的热量达到很高的过热度而产生相变硬化,故此处的硬度突然升高(见图 3)。

## 2.5 讨论

激光表面淬火是一个急热急冷的过程,由于加热时间短、加热区域小,工件变形很小,非常适用于模切辊这样的大型工件,这是传统热处理技术难以实现的。但由于受激光光束尺寸的限制,多道搭接过程中必然产生后道对前道的回火,产生不希望出现的软化带,对此问题的妥善解决是模切辊表面强化技术的关键。由上可知,要成功进行模切辊的激光表面淬火,除选取恰当的激光功率、扫描速度、离焦量等工艺参数外,还必须选取合适的搭接率。搭接率太小,搭接带硬化深度不够;搭接率太大,回火

(下转第 509 页)



衡, 从而造成对细胞的伤害。而 CAT, SOD, POD 等自由基清除酶在  $O_2^{\cdot-}$  浓度上升时, 可大量合成, 从而提高清除自由基的能力。本实验结果显示: 激光预处理的大豆幼苗比对照组有较高的 CAT, SOD, POD 活性, 明显地提高了机体活性氧代谢水平。这就有效地减轻种子在吸水萌发呼吸速率急剧增加时在呼吸电子传递链上 NADH 黄素蛋白和辅酶 Q-Cytb 等位点因形成电子漏而促进  $O_2^{\cdot-}$  的大量生成导致的膜系统活性氧损伤<sup>[10]</sup>, 进而增强幼苗生长的活力。

研究中还发现, 处理组 AML 活力明显高于对照组, MDA 和电解质外渗率低于对照组。MDA 和电解质外渗率低说明膜脂过氧化程度低, 膜受到的损伤小。AML 活力的提高有助于生物膜结构的完整, 使得膜功能更加完善, 为提高代谢酶系及保护酶系的活力奠定了物质基础。

综上所述, 从能量转移、膜系统和自由基伤害方面来解释激光预处理大豆种子的后生物效应: 种子内 ATP 含量提高, 加速了种子的萌发, 提高了酶的活性, 而膜结构功能的完整为酶活性调节的提供了物质基础。酶活性的提高, 使得清除自由基能力增强, 最终表现出幼苗的耐寒性提高。

### 参 考 文 献

- [1] 许梅芬. 应用激光, 1995, 15(3): 131~134.
- [2] 黄光明, 刘承宜, 刘松豪. 激光生物学报, 1998, 7(2): 90~92.
- [3] 吴俊林. 应用激光, 2001, 21(3): 191~192.
- [4] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验. 北京: 科学出版社, 1990: 252~253, 37~39, 175~178.
- [5] Bradford M M. Plant Physical, 1991, 95: 648.
- [6] 王爱国, 罗广华. 植物生理学通讯, 1990(6): 55~57.
- [7] Heath R L, Packer L. Arch Biochem Biophys, 1968, 125: 189~198.
- [8] 田廷亮, 扶惠华. 植物生长物质及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1995: 291~296.
- [9] 沈 同. 生物化学. 北京: 人民教育出版社, 1981: 440.
- [10] Rich P R, Bonner W D. Biochem Biophys, 1978, 188: 200~213.

(上接第 502 页)

带增宽, 且由于回火区硬度随着回火带宽增大而逐渐降低, 以至于产生不能满足实用要求的软化带。通过多次试验, 得出 50<sup>#</sup> 钢模切辊激光表面淬火的最佳工艺参数是: 激光功率 2.0kW、扫描速度 12mm/s、离焦量 50mm、搭接率 20% 左右。图 6 是 50<sup>#</sup> 钢模切辊激光表面淬火的照片。

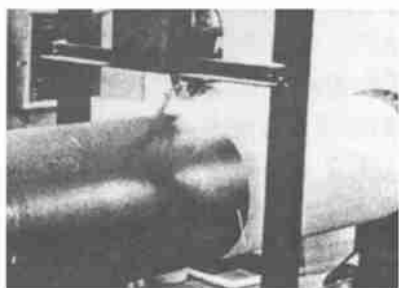


Fig. 6 Laser surface hardening for mould cutting roller of 50 carbon steel

## 3 结 论

(1) 在适当的工艺参数下, 对 50<sup>#</sup> 钢模切辊进行

激光淬火, 工件变形很小, 完全可以满足实用需要。

(2) 50<sup>#</sup> 钢模切辊经激光表面淬火后, 硬化层组织由细小的位错马氏体和隐晶马氏体及少量的残余奥氏体组成, 组织细密, 硬度高, 整体的硬度分布比较均匀。

### 参 考 文 献

- [1] 潘 邻, 陶锡麒, 夏春怀 *et al.* 金属热处理, 2002, 27(1): 18~20.
- [2] 邹湘军, 樊湘芳, 石世宏 *et al.* 激光技术, 2002, 26(1): 68~70.
- [3] 花银群, 陈瑞芳. 机械设计与制造工程, 2001, 30(1): 55~56.
- [4] 马自忠. 金属热处理, 1999, 24(8): 5~7.
- [5] 林剑东, 郑会军, 李大东 *et al.* 钢铁钎焊, 1998, 19(4): 31~35.
- [6] 王存山, 关振中, 石 岩 *et al.* 应用激光, 1998, 18(4): 148~150, 160.
- [7] 袁 斌, 龚知本, 沈书泊 *et al.* 激光技术, 1999, 23(6): 364~368.
- [8] 王家金. 激光加工技术. 北京: 中国计量出版社, 1992: 189~209.