

文章编号: 1001-3806(2003)03-0205-03

高碳高合金钢激光熔凝处理的性能研究*

赵玉珍 刘建萍 史耀武

(北京工业大学材料学院, 北京, 100022)

摘要: 采用 CO₂ 连续波工业激光器在高碳高合金钢 Cr12 表面进行了激光熔凝处理试验, 比较了激光处理前后 Cr12 钢的抗弯强度和耐磨性, 采用电子显微镜观察了断口特征、断口处和磨面处熔凝层的 TEM 形貌, 并用 X 射线仪测量了抗弯试验前后激光处理层中奥氏体含量随熔凝层深的变化。结果表明, 激光熔凝处理后获得超细化的枝晶组织, 其抗弯强度和耐磨性显著提高。在抗弯试验和磨损过程中, 熔凝层内的奥氏体含量大幅度降低, 并出现了大量的层错和位错团。晶粒细化, 奥氏体应变诱发马氏体转变, 大量位错团的产生是抗弯强度和耐磨性提高的主要原因。

关键词: 激光表面处理; 抗弯强度; 耐磨性; 组织细化; 位错团; 奥氏体应变诱发马氏体转变

中图分类号: TG113.2 **文献标识码:** A

Study on the property of laser remelting high-carbon high-alloy steel

Zhao Yuzhen, Liu Jianping, Shi Yaowu

(School of Materials Science and Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Abstract: Laser remelting on the surface of Cr12 steel was performed with CO₂ laser. The bending strength and wear resistance of Cr12 before and after laser surface remelting were compared. Fractography and TEM of microstructure in the remelting layer were studied by electron microscope. Austenitic distribution of the laser remelting layer as a function of distance from surface was measured with X-ray diffractometer. The experimental results show that super refined microstructure is formed in the remelting layer. The bending strength and wear resistance are enhanced evidently. Plenty of dislocation cluster are found in the TEM of microstructure in the remelting layer after the bending strength and wear test. Super refined microstructure, strain induced martensite transformation in the retained austenite and formation of dislocation cluster are the important reasons to reinforce the bending strength and wear resistance.

Key words: laser surface remelting; bending strength; wear resistance; super-refined microstructure; dislocation cluster; strain induced martensite transformation

引言

从省能源、省资源、充分发挥材料性能潜力、获得特殊性能和最大经济效益出发, 表面强化工艺是提高材料使用性能和寿命的极为重要的发展方向。激光熔凝处理和固态相变处理能普遍提高材料的耐磨性、强度、耐腐蚀性^[1, 2]。许多研究者对灰铸铁^[3]、低碳钢^[4]、中碳钢^[4]、高碳钢^[5]、合金钢^[6]的激光表面处理做了大量的研究。目前, 国内外最成功的运用均属要求耐磨的零件, 如缸套、活塞环、微

型导轨、轴承等^[7~9]。但是对工业生产中占有重要地位的高碳高合金钢的激光熔凝处理的研究在许多方面并不深入。作者以 Cr12 钢为研究对象, 着重研究激光熔凝处理后的抗弯强度和耐磨性, 为高碳高合金钢的激光表面处理提供理论依据和试验依据, 进而指导生产, 推广激光表面处理的应用。

1 试验方法

Cr12 钢的热处理工艺为 950℃ 淬火, 200℃ 回火。将 10mm × 20mm × 140mm 的试样经磷化处理, 在国产 GJ1 型 CO₂ 连续波工业激光器上进行激光处理, 试样做轴向运动, 在试样表面形成相互平行的硬化带, 切割成供透射分析, 磨损试验的试样。抗弯试样的尺寸为 6mm × 10mm × 120mm, 激光纵向扫描试样背部, 并沿弯曲纵向也进行激光处理。具体参数: 功率为 1250W~1350W, 圆形光斑直径

* 国家 973 项目“新一代钢铁材料重大基础研究”资助项目。

作者简介: 赵玉珍, 女, 1974 年 8 月出生。博士研究生。现主要从事焊接熔池、熔化和凝固过程中的温度场、流场的计算及组织模拟方面的研究。

收稿日期: 2002-06-19; 收到修改稿日期: 2002-09-08

为 3.0mm, 电压为 3.2kV, 电流为 4.4A。激光扫描速度为 21mm/s。

抗弯强度试验采用三点弯曲方法在 INSTRON1195 试验机上进行。磨损试验在 M-200 国产滑动磨损试验机上进行。磨损时, 选取载荷 60kg, 转速 400r/min, 以 10 滴/min 的速度滴 20 号机油。每个试样共磨 4h。每磨 1h, 取下试样, 在读数显微镜下测量磨痕宽度, 按下式计算体积, 作为磨损性能指标:

$$V = \left\{ r^2 \sin^{-1} \left[\frac{b}{2r} - \frac{b}{2} \left(r - \frac{b^2}{4} \right) \right] \right\} \approx \frac{Bb^3}{12} \quad (1)$$

式中, B 为试样宽度(10mm), b 为磨痕宽度(mm), r 为磨轮外圆半径(20mm)。

Table 1 The size of laser surface remelting layer

scanning velocity / (mm·s ⁻¹)	depth of the laser hardened layer/mm	width of the laser hardened layer/mm	depth of laser remelting layer/mm	depth of solid transformed layer/mm
21	0.60	1.83	0.45	0.15

Table 2 Bending strength before and after laser surface remelting

property	before laser surface remelting	laser surface remelting
bending strength / MPa	487.8	828.8

图 1 为 Cr12 钢激光熔凝处理后熔凝层内的 TEM 组织, 熔凝层内出现了大量鱼骨状的超细化枝晶奥氏体和枝晶间层片相间的变态莱氏体, 细小圆整的碳化物弥散分布。超细化的组织将使得试样的抗弯强度和耐磨性提高。并且熔凝层内出现了大量的残余奥氏体, 残余奥氏体对抗弯强度和耐磨性的提高有着重要的作用。



Fig. 1 TEM of microstructure of laser surface remelting

图 2 是激光熔凝处理前后的 Cr12 的磨损试验结果。激光处理后试样的耐磨性远高于未处理试样的耐磨性。随着磨损时间的延长, 未经过激光处理的试样的磨损速率基本不变, 磨损失重成比例增长, 而激光处理后试样的磨损速率逐渐变小, 每小时内的磨损失重也越来越小。可以推测, 由于激光处理增大了试样的表面粗糙度, 在磨损刚开始的一段时间内, 激光处理后的试样磨损量较未处理试样的磨损量大, 而随着时间的继续增加, 激光处理层的耐磨

采用日本理光 D/max-3A 型 X 射线仪测量抗弯试验前后的激光处理层中不同深度处的残余奥氏体含量。采用 JEM-200CX 型透射电子显微镜对断口处和磨损面处激光熔凝层进行观察。并采用 TSM-1 型电子显微镜分析抗弯试样断口。

2 结果及分析

表 1 是 Cr12 激光熔凝处理后硬化层的几何尺寸。硬化层总深度为 0.60mm, 其中熔凝层深为 0.45mm。表 2 是激光熔凝处理前后抗弯强度的比较。激光熔凝处理后的 Cr12 钢的抗弯强度较未经过处理 Cr12 钢的抗弯强度提高了将近 1 倍。

性会越来越好, 在一定时间内, 磨损失重为 0。

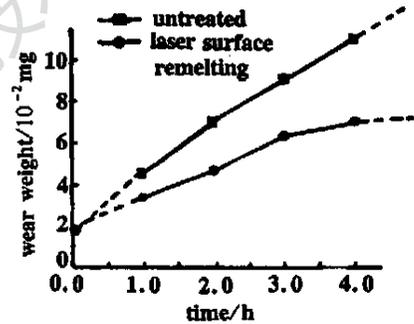


Fig. 2 Wear resistance of Cr12 steel untreated and laser surface remelting

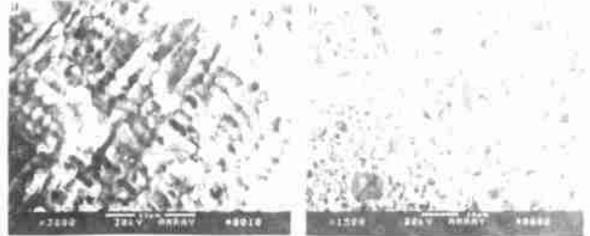


Fig. 3 SEM of microstructure of the fracture after laser remelting a—refined dendritic b—carbide morphology

图 3 是激光熔凝处理的抗弯试样断口的 SEM 显微图像。由图 3a 可以看出, 激光熔凝层中的细小枝晶沿热流方向分布。图 3b 中的断口形貌显示了激光处理与未处理的差别。激光硬化层的断口特征是: 以韧窝为主+ 少量准解理, 而未处理区的断口特征是: 韧窝+ 解理。而且两区域中的碳化物的大小、形貌有明显差别。激光处理区中的碳化物颗粒细小且圆整, 而未处理区中的碳化物呈较大块状。

碳化物的大小和形貌影响了断口形貌特征, 激光熔凝层中细小圆整的碳化物会提高钢的强韧性。

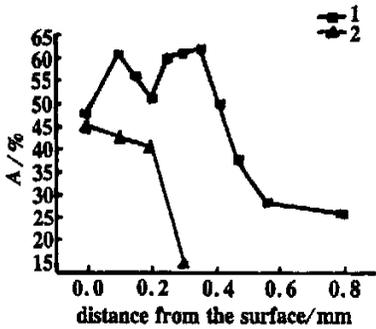


Fig. 4 Austenitic distribution of the laser surface remelting as a function of distance from surface

图 4 是试样抗弯试验前后激光熔凝层中奥氏体含量随层深的变化, 曲线 1 是试样抗弯前激光处理层中奥氏体含量随层深的变化, 在熔凝层内, 奥氏体含量随层深的增加而增加, 其最高含量可达 60%, 曲线 2 是抗弯试验后的硬化层中奥氏体含量随层深的变化。由两曲线比较可知, 抗弯试验后的试样中奥氏体的含量大幅度降低。在抗弯试样断口处熔凝层的 TEM 形貌(见图 5)里, 枝晶主干内有许多贯穿主干的层错及大量的位错, 对枝晶的层错衍射斑点进行标定, 有面心立方、体心立方和密排六方三套斑点同时存在, 即奥氏体相、马氏体相和奥氏体向马氏体转变的中间相。由于层错能常随溶质原子扩展进入扩展位错中而增大, 在外力作用下, 残余奥氏体中大量蜷线位错出现的同时, 便有碳原子从那里析出, 导致了层错能下降, 层错数量增加, 新出现的位错又很快作为核心转变为马氏体。这样, 由于奥氏体应变诱发马氏体转变, 使得硬化层中奥氏体含量减少, 马氏体含量增多。这种相变的发生及转变量的变化必将影响钢的抗弯性能。如果从能量角度考虑, 由于奥氏体的诱发马氏体转变需要能量, 而裂纹扩展也需要能量, 因此, 残余奥氏体应变诱发马氏体相变提高了钢的强韧性。

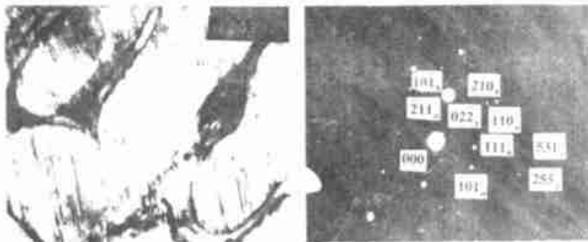


Fig. 5 TEM of microstructure of dendritic laser surface remelting after bending test

一定量的残余奥氏体将会对耐磨性有利^[10, 11], 在进行磨损试验时, 磨层内的残余奥氏体的存在有

助于改善表面的接触状态, 可以缓和微峰的冲击作用, 能阻碍裂纹的扩展, 并且残余奥氏体能经受塑性变形而转变成马氏体, 这会提高材料表层的硬度, 导致提高耐磨性。粘着现象是磨损破坏过程的一种主要机制。具有较高硬度的残余奥氏体能够有效避免粘着破坏, 它能较长时间地保持在金属表面, 直至形变诱发马氏体。次表面的残余奥氏体可以避免与摩擦副直接接触而遭到粘着破坏, 使残余奥氏体提高硬度的作用得到更充分的发挥。由图 4 中曲线 2 可知, 激光处理层中的残余奥氏体大多数分布在次表层。这一分布特点有利于提高耐磨性。并且残余奥氏体在转变为马氏体的过程中, 产生压应力, 在工件工作层中形成高密度的稳定分布的位错, 如图 6 所示。所以, 耐磨性的提高既来自于激光处理后高度细化的组织, 又来自于磨损过程中组织的进一步硬化和韧化。



Fig. 6 TEM of dislocation cluster of the fretting surface of laser surface remelting

3 结 论

(1) 激光熔凝处理后的 Cr12 钢的抗弯性能和耐磨性显著提高。(2) 激光处理区的断口特征是: 以韧窝为主+ 少量准解理, 而未处理区的断口特征是: 韧窝+ 解理。(3) 抗弯试验和磨损试验过程中, 奥氏体内出现了大量的层错和位错团, 并且熔凝层中的奥氏体含量大幅度降低, 产生了奥氏体应变诱发马氏体转变现象。(4) 晶粒细化, 一定量的奥氏体的存在是使激光熔凝处理的 Cr12 钢的抗弯强度和耐磨性提高的主要原因。

参 考 文 献

- [1] Rykalin N. Pergamon Press, 1987, 35(5): 326~ 327.
- [2] 沈 莲, 李成芳. 机械工程材料, 1989, 3(2): 78~ 81.
- [3] 刘江龙, 谭继福. 机械工程材料, 1989, (5): 11~ 14.
- [4] Pelletier J M, Pergue D, Fouquet F. Materials Science, 1989, 24(12): 4343~ 4349.
- [5] 胡健东, 李 章. 金属热处理学报, 1990, 11(2): 19.
- [6] 潘清跃, 李延民. 金属学报, 1996, 32(7): 718.
- [7] 朱企业. 激光精密加工. 北京: 机械工业出版社, 1994: 199.
- [8] 王家金. 激光加工技术. 北京: 中国计量出版社, 1992: 186.
- [9] Granamuthu D S. ASM, Metals Park, 1979, 129(4): 1~ 44.
- [10] 程荫芋, 李柏武, 张惠斌 *et al.* 固体润滑, 1986(2): 65~ 74.
- [11] 雷天同, 赵鹏文, 陈文福 *et al.* 金属热处理, 1984(7): 13~ 18.