

高碳高合金钢的激光表面熔凝处理的耐磨性研究

Study on Wear Resistance of Laser Surface Remelting High-carbon-high-alloy Steel

赵玉珍¹, 王维斌¹, 史耀武¹, 沈 莲² (1 北京工业大学材料学院, 北京 100022; 2 西安交通大学材料学院, 西安 710049)

ZHAO Yu-zhen¹, WANG Wei-bin¹, SHI Yao-wu¹, SHEN Lian²
(1 School of Material Science and Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China; 2 School of Material Science and Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

摘要: 研究了激光表面熔凝处理前后的高碳高合金钢 Cr12 的耐磨性能, 并结合激光熔凝后组织的转变, 分析了耐磨性提高的原因。结果表明: 硬度的提高, 熔凝层中超细化的组织, 大量的残余奥氏体使得激光处理后的材料的耐磨性能大幅度提高。

关键词: 高碳高合金钢; 激光表面熔凝处理; 耐磨性能; 残余奥氏体

中图分类号: TG142.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2003) 02-0037-04

Abstract: Wear resistance of laser surface remelting high-carbon-high-alloy steel Cr12 was studied. The reasons for enhancing wear resistance were discussed. The results show that higher microhardness, super-refined microstructure and plenty of remaining austenite after laser surface remelting reinforce wear resistance.

Key words: high-carbon-high-alloy steel; laser surface remelting; wear resistance; remaining austenite

金属材料表面经激光快速加热熔化并快速冷却凝固后可使金属表面形成极细的晶粒, 甚至非晶态, 而且可以得到许多常规凝固及热处理手段不能得到的亚稳态组织和表面性能, 因而极有效地改善金属材料表面强度、耐磨性等力学性能。本研究以高碳高合金钢 Cr12 为研究对象, 采用表面强化处理工艺, 以此延长高碳高合金钢的使用寿命。

1 试验方法

1.1 激光处理工艺

将 950 ℃ 淬火, 200 ℃ 回火的 Cr12 钢加工成 10mm × 20mm × 140mm 的矩形试样并经磷化处理, 然后用国产 GJ-1 型 CO₂ 连续波工业激光器进行激光处理, 参数为: 功率 1250 ~ 1350W, 圆形光斑直径 3.0mm, 电压为 3.0kV, 电流 4.4 A, 扫描速度 21mm/s。激光辐照时, 试样做轴向运动, 在试样表面形成相互平行的硬化带。再切割成供金相分析、透射电镜分析、磨损试验分析的各种试样。

1.2 显微组织分析

采用 Neophot21 型光学金相显微镜 MEF3 对激光硬化层的形貌和组织进行观察分析, 并测量硬化带

的总深度、宽度及熔凝层深。采用 JEM-200CX 型透射电子显微镜对熔凝层的精细结构进行观察分析。

1.3 性能测试

采用 HV-200 硬度计, 在 100g 负荷下, 测量激光熔凝处理前后 Cr12 钢的硬化层不同深度处的显微硬度。

磨损试验在 M-200 国产滑动磨损试验机上进行, 试验机上试样是用线切割切取的激光处理前或后的磨损试样。下试样为淬火+低温回火处理的 GCr15 磨轮。进行磨损实验时, 选取载荷 60kg, 转速 400r/min, 以 10 滴/分钟的速度滴 20 号机油。每个试样共磨 4h。每磨 1h, 取下上试样, 在读数显微镜下测量磨痕宽度, 按式 (1) 计算体积^[1], 作为磨损性能指标。

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

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)。

2 试验结果及分析

Cr12 钢激光熔凝处理前后的磨损试验结果如图 1 所示。随着时间的增加, 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, 随着时间的继续增加, 激光处理层的耐磨性会更好。

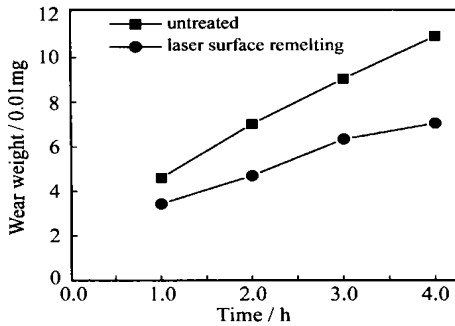


图1 Cr12 钢激光熔凝处理前后的耐磨性
Fig. 1 Wear resistance of Cr 12 steel untreated and laser surface remelting

图2是未经激光处理和激光处理后的磨面形貌。图2a是未经激光处理的试样的磨面形貌, 磨面沟槽较深, 沟槽两侧可见有明显的塑性变形, 多处出现摩擦凸点粘着, 被撕裂脱落的痕迹。图2b为中激光熔凝处理后的试样磨面较平滑, 沟槽很浅, 粘着点几乎看不出来。磨损程度远远小于激光处理前的磨损程度由以上的耐磨性测量结果、激光熔凝处理前后的磨面形

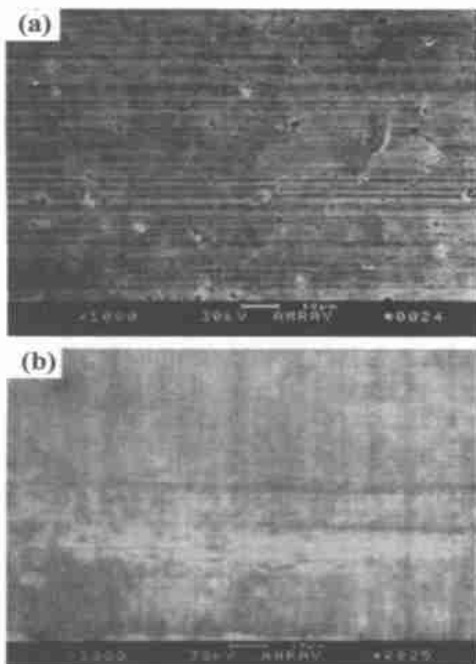


图2 激光熔凝处理前后的磨面形貌
(a) 激光熔凝处理前; (b) 激光熔凝处理后
Fig. 2 SEM of the fretting surface of untreated and laser surface remelting

貌分析可知, 激光处理后试样的耐磨性能远远高于激光处理前的试样的耐磨性能。

磨损的分层理论认为: 磨损包括次表面的塑性变形、裂纹形核、扩展以致断裂三个过程^[2]。硬度对于耐磨性的作用是不言而喻的, 它是衡量材料抵抗表面范围内局部发生塑性变形的能力的量。从粘着摩擦机理而言, 理想的粘着摩擦表面应当是表面软、亚表层硬, 下表层有一平缓的过渡区。也就是说, 从粘着磨损的角度, 希望表层润滑性能好, 而亚表层有良好的支撑作用, 尽量大的屈服强度, 下面的平缓过渡是保证不发生层状剥落。试验测得的激光熔凝处理后的硬度随层深的分布曲线如图3所示, 而且表层有大量的奥氏体, 符合理想的粘着摩擦表面, 故不易发生粘着磨损。

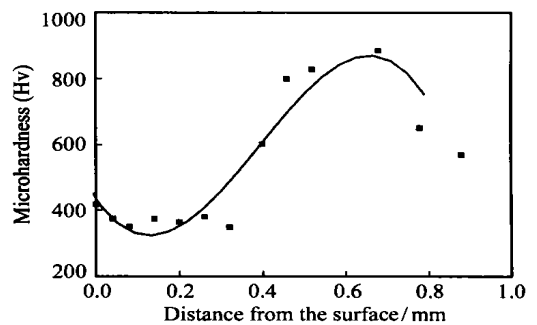


图3 显微硬度随硬化层深的分布
Fig. 3 Microhardness distribution of the laser surface remelting as a function of distance from surface

组织决定性能, 硬度的变化趋势与熔凝层的组织有关, 因而材料的耐磨性的提高与激光熔凝处理后形成的组织有密切关系。图4是激光熔凝处理后硬化层的形貌, 金相显微镜下观察到的激光硬化层的截面形状呈月牙状。通常硬化深度是指月牙中心的深度。硬化层分为熔凝层和固态相变层。测量得到熔凝层深度为0.45mm, 硬化层深度为0.6mm, 宽度为1.83mm。图5是激光熔凝层的显微组织。熔凝层为树枝晶形

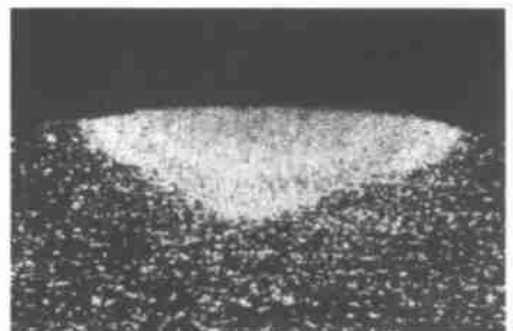


图4 激光熔凝层横截面形貌
Fig. 4 Section-morphology of the laser remelting

貌。表面熔凝层的组织极为细小，能清晰看到沿热流方向排列的树枝晶。树枝主干为初生奥氏体，树枝间的共晶产物细小的无法分辨，需借助透射电镜观察。

晶莱氏体 ($A + (Cr, Fe) \gamma C_3$)。初晶奥氏体呈鱼骨状，还可以看到细小、圆整的碳化物颗粒弥散分布在奥氏体晶粒上。树枝间的莱氏体为细小层片状。晶粒细小，晶界面积越大，对位错的阻力越大，从而强度越高。所以激光熔凝处理后得到的超细化的晶粒对耐磨性有利。

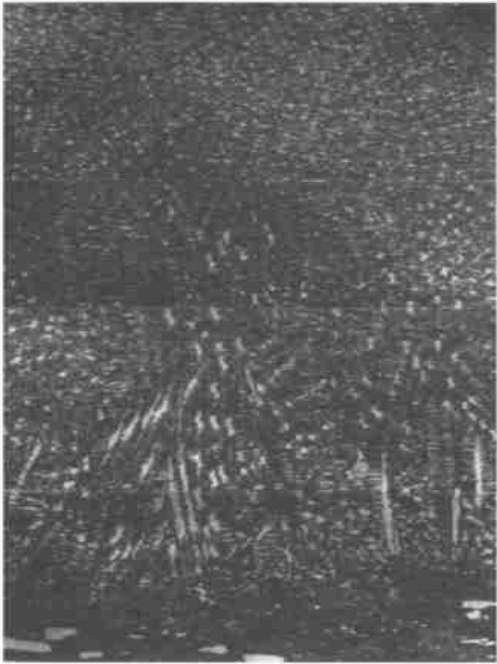


图 5 激光熔凝层的金相组织 (500×)

Fig. 5 Optical morphology of the laser remelting layer (500×)

图 6 和图 7 分别是激光熔凝处理后形成的超细化的树枝状初晶奥氏体和高硬度的树枝间层片状共

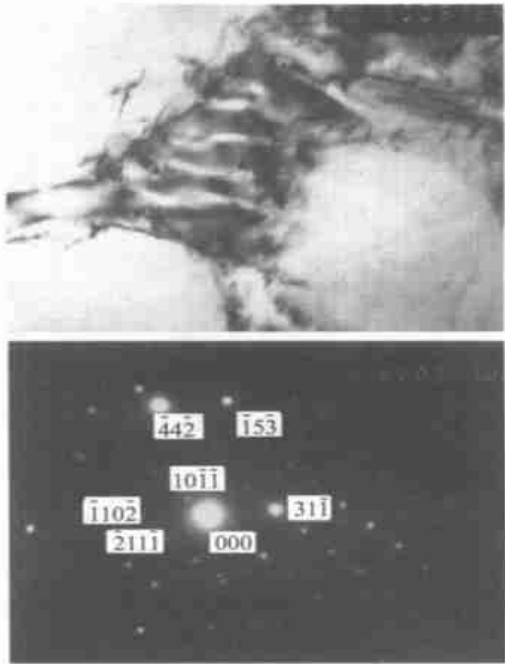


图 7 熔凝层树枝晶间TEM 像及其衍射斑点

Fig. 7 TEM of microstructure of the inter-dendritic of laser surface remelting

激光熔凝处理后得到大量的奥氏体，奥氏体对于耐磨性的提高有重要的作用。图 8 所示为硬化层中奥氏体随层深的分布。从硬度的分布曲线和奥氏体的分布曲线比较可以看出，在熔凝层中（小于 0.45mm 处），奥氏体的含量高，硬度低，在未发生熔化的固态相变层中，奥氏体的含量低，硬度高，最高值可达

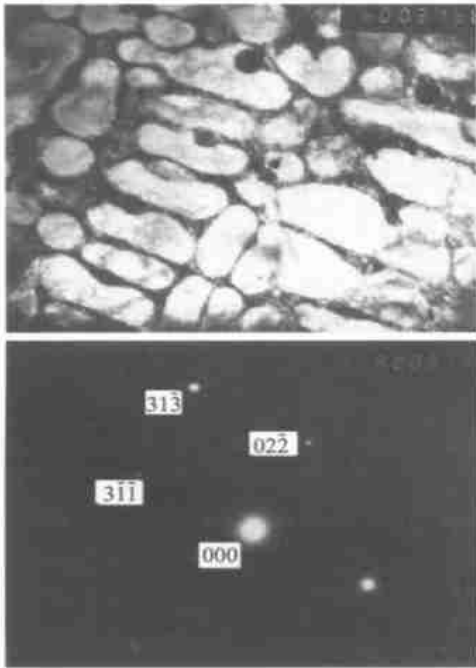


图 6 熔凝层树枝晶TEM 像及其衍射斑点

Fig. 6 TEM of microstructure dendritic laser surface remelting

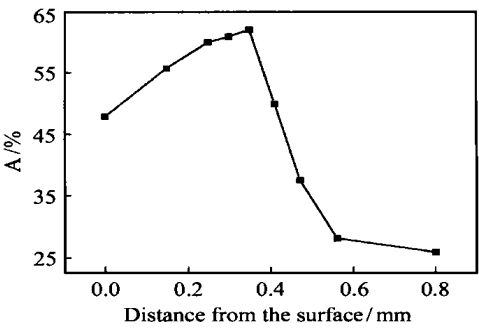


图 8 奥氏体含量随硬化层深的分布

Fig. 8 Austenitic distribution of the laser surface remelting as a function of distance from surface

883.2HV。激光加热时熔体温度很高,使得大量碳化物熔入奥氏体,于是奥氏体中Cr合金含量、碳含量大幅度提高,高含量的Cr合金、碳元素会降低 M_s 点,因此,液相中先析出的奥氏体相和共晶中的奥氏体相不发生马氏体转变而保持到室温,所以熔凝层中存在着大量的奥氏体。

晶粒的高度细化,是材料磨损前的组织形态,这些因素对材料的耐磨性产生有利的影响。而且材料在磨损过程中,其组织和亚结构将会发生变化。许多学者认为,一定条件下的磨损表面将出现较厚的硬化层,表面的位错密度明显高于内部^[3]。在图9中的熔凝层表层磨面形貌的TEM像中,可以看到树枝晶内出现了大量的位错和相互交错的位错团。可知,激光熔凝层在磨损过程中发生了加工硬化。在摩擦过程中,部分残余奥氏体将会发生马氏体转变,如图10所示。在应力应变作用下,奥氏体容易诱发转成马氏体,提高材料的表面硬度,进而提高耐磨性。



图9 激光熔凝层磨面位错团的TEM像

Fig. 9 TEM of dislocation cluster of the fretting surface of laser surface remelting



图10 磨损中奥氏体应变诱发马氏体TEM像

Fig. 10 TEM of strain-induced martensite transformation in austenite during sliding wear

3 结论

(1) 经激光处理的高碳高合金钢耐磨性提高。

(2) 超细化的树枝状初晶和高硬度的共晶莱氏体有利于耐磨性的提高。

(3) 奥氏体应变诱发马氏体的转变,提高材料的表面硬度,进而提高耐磨性。

参考文献

- [1] 竹内荣一. 润滑, 1979, 24 (3): 150.
- [2] Zhang Shouhua, Sun Dongzhi. In proc 2nd conf On heat treatment of materials Soc Itali of Metal [C]. Florence, 1982, 12 (8): 75-81.
- [3] N M 柳巴斯基著. 摩擦的金属物理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988: 11.

基金项目: 国家 973 项目 “新一代钢铁材料重大基础研究” (G1998061500)

收稿日期: 2001-09-11

作者简介: 赵玉珍 (1974-), 女, 山东, 博士生, 研究方向: 激光表面处理, 焊接温度场、流场的计算和组织模拟, 联系地址: 北京工业大学材料学院连接部 (100022)。

* * * * *

书 讯

陶瓷腐蚀

冶金版

工业技术类 (美) 麦克考利著 高南、张启富译

大 32 开 200 千字 230 页 软精装 估价: 20.00 元

2003 年 1 月出版

ISBN 7-5024-3188-8

版权贸易合同号: 01-2001-1239

本书作者是美国当代陶瓷腐蚀科学家, 具有多年实际经验。本书参考了大量国际文献, 并结合了作者个人研究成果, 与生产实践广泛联系。本书共 8 章, 前 4 章涉及陶瓷领域的最新成果, 系统介绍了陶瓷腐蚀的原理、分析检测、环境因素等有关方面的知识; 后 3 章则根据陶瓷使用的不同情况, 详细讨论了不同介质、温度等因素对各种主要陶瓷材料, 如晶体陶瓷、玻璃体陶瓷等组织结构、力学性能和特种用途等方面的影响; 同时对近十年来出现的各种功能陶瓷的腐蚀问题作了阐述; 最后一章对如何减少腐蚀, 延长其使用寿命进行了探讨。

读者对象: 陶瓷、材料、冶金、化工、腐蚀等专业的科研、生产的科技人员。

化学分析中不确定度的评估指南

计量版

数理化类 中国实验室国家认可委员会编著

16 开 180 千字 144 页 平装 估价: 45.00 元

2002 年 12 月出版

ISBN 7-5026-1716-7

本书是中国实验室国家认可委员会 (CNAL) 的指南性文件, 旨在为化学检测实验室进行不确定度评估提供指导, 并对化学检测实验室在实施认可准则时提供指引。

读者对象: 实验室、检查机构工作人员和管理人员, 实验室评审人员。

(宋丽华)