

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0023-04

激光淬火与中频感应淬火对比研究

石 岩, 张 宏, 徐春鹰

(长春理工大学机电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要 利用摩擦磨损实验机对 45CrNi 钢开展了激光淬火和中频感应淬火摩擦磨损对比实验研究, 并利用扫描电镜(SEM)、投射电镜(TEM)和 X 射线衍射仪(XRD)等设备对两种淬火试样硬化层进行了微观分析。结果表明, 在载荷 50~250 N 条件下, 激光淬火试样的耐磨性比中频感应淬火试样提高了 4%~21%; 中频感应淬火试样的摩擦系数略大于激光淬火试样的摩擦系数。两者的主要磨损形式均为磨粒磨损, 但中频感应淬火试样磨损后表面犁沟的深度和宽度大于激光淬火试样表面犁沟的深度和宽度。两种淬火方法淬硬层均为板条马氏体和少量针状马氏体的混合组织, 但中频感应淬火淬硬层有大量的碳化物析出, 碳化物含量多且碳化物颗粒大、残余奥氏体多。

关键词 激光技术; 激光淬火; 中频感应淬火; 耐磨性; 微观组织

中图分类号 TG156.99 **文献标识码** A

Comparison of Laser Hardening and Medium Frequency Induction Hardening

SHI Yan, ZHANG Hong, XU Chunying

(College of Electromechanical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jiling 130022, China)

Abstract Friction and wear comparison tests of laser hardening and medium frequency induction hardening were performed using friction wear testing machine. And the microstructure of hardened layer was characterized by SEM, TEM and X-ray Diffractometer. The test results show that the wear resistance of laser hardening is 4%~21% higher than that of medium frequency induction hardening under the load of 50~250 N. However, the friction coefficient of laser hardened specimens is lower than that of medium frequency induction hardened ones. The frictional behaviour of them is grain abrasion. But the width and the depth of wear trace treated by medium frequency induction hardening were greater than it treated by laser hardening. The microstructures of hardened layer are lath martensite and less acicular martensite. But more carbide was been precipitated in hardened layer treated by medium frequency induction. And more residual austenite was leaved in it.

Key words laser technique; laser hardening; medium frequency induction hardening; wear resistance; microstructures

1 引 言

激光淬火和感应淬火都属于表面淬火方法, 但各自具有不同的原理和特点。激光淬火具有加热速度和冷却速度极快, 硬化层区域可精确控制。激光淬火后工件变形小, 耐磨性高, 可实现自冷淬火^[1~5]。

45CrNi 钢具有良好的综合机械性能, 广泛用于车辆、机床等军民品设备中要求具有良好机械性能的各种重要零件。由于这种部件经常工作在有摩擦的

场合, 表层不断地被磨损, 因此需要其表面具有高的强度、硬度和耐磨性, 需对其表面进行淬火。目前普遍采用中频感应淬火来获得较深的硬化层, 提高其耐磨性。本文以 45CrNi 钢为研究对象, 对 45CrNi 钢激光淬火和中频感应淬火耐磨性进行了对比研究。

2 实验方法与设备

2.1 实验材料

45CrNi 钢试样尺寸为 35 mm×25 mm×10 mm,

基金项目: 兵器科技预先研究(40401050201)资助项目。

作者简介: 石 岩(1972—), 男, 吉林长春人, 副教授, 博士, 主要从事激光加工方面的研究。E-mail: shiyan@cust.edu.cn

原始调质硬度为 24~30HRC。为提高对激光的吸收率,对试样进行黑化处理。摩擦磨损实验对偶件为 GCr15 钢,其硬度为 HRC61~65,尺寸为 $\phi 50$ mm。

2.2 实验设备及参数

激光淬火采用 5 kW 横流 CO₂ 激光处理系统和宽带扫描转镜。功率为 2.5 kW,扫描速度为 100 mm/min,光斑尺寸为 15 mm \times 3 mm。

摩擦磨损实验在 MM200 型磨损实验机上进行,实验参数为:载荷 50~250 N,转速为 400 r/min,磨损时间为 30 min。摩擦磨损实验用失重法评定耐磨性。摩擦磨损实验试样尺寸 10 mm \times 10 mm \times 14 mm。激光淬火和中频感应淬火试样硬度均为 59~61 HRC,硬化层深均为 2 mm 左右。

利用 Π MT-3 型显微硬度计确定硬化层深度,载荷 100 g。采用 HR-150A 型洛氏硬度计测量硬化层表面硬度,载荷 150 kg,每个试样测量三次取平均值。

微观分析在 AMRAY-1000B 型扫描电镜, H-800 型透射电镜上进行,电压分别为 30 kV 和 200 kV。采用 D/max 2500PC 型 X 射线衍射仪对试样进行 X 射线分析。

3 实验结果与分析

3.1 激光淬火和中频感应淬火磨损量比较

激光淬火与中频感应淬火试样在不同载荷下磨损量如图 1 所示。在相同的实验条件下,在载荷 50~250 N 时,45CrNi 钢激光淬火试样与中频感应淬火试样的磨损量相比,激光淬火磨损量要小,激光淬火试样的耐磨性提高 4%~21%。

3.2 磨损表面形貌观察与分析

图 2 为 150 N 条件下,激光淬火试样和中频感应淬火试样磨损后磨痕表面形貌。其中(a)为中频感应淬火试样磨损后磨痕表面形貌,(b)为激光淬

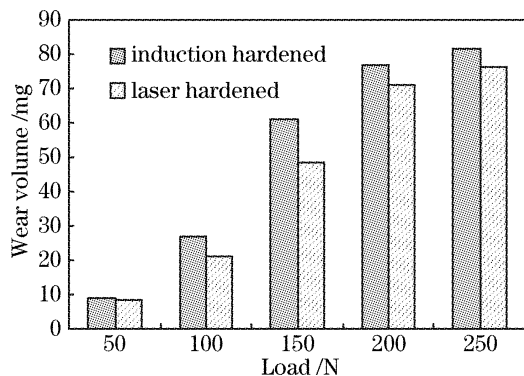


图 1 中频感应淬火与激光淬火磨损对比

Fig. 1 Wear comparison histogram

火试样磨损后磨痕表面形貌,磨痕表面主要由磨粒磨损形成的犁沟组成。中频感应淬火试样磨损后表面犁沟的深度和宽度大于激光淬火试样,说明中频感应淬火试样的磨损要比激光淬火试样剧烈。

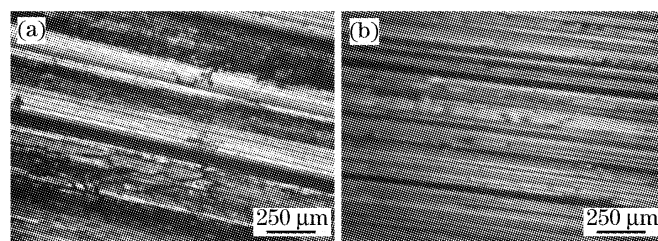


图 2 45CrNi 钢试样磨痕表面形貌

Fig. 2 Worn surface of 45CrNi steel

3.3 微观组织分析

图 3(a),(b)分别为激光淬火试样的淬硬层、过渡区的扫描电镜照片。从图中可以看出,激光淬火后,硬化层为马氏体组织,过渡区为马氏体与回火索氏体的混合组织,越靠近心部马氏体所占比例越小,而回火索氏体所占比例越大,从表层到心部其组织呈均匀的梯度分布。激光淬火时,表层温度迅速提高而达到奥氏体化温度生成奥氏体,而后迅速冷却转变为马氏体组织。而心部由于并未被加热到临界温度而保持回火索氏体组织。对于过渡区(不完全淬火区),它的马氏体组织的产生与硬化层相同,而回火索氏体的产生则是由于冷却时发生自回火而产生。

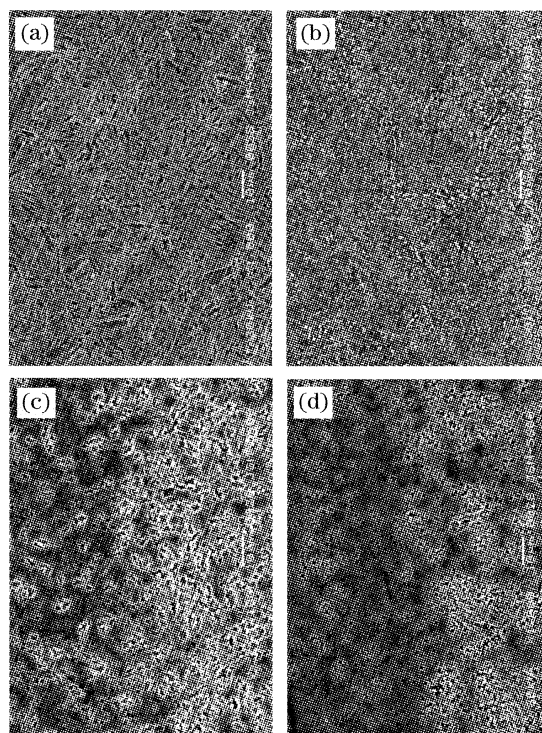


图 3 45CrNi 钢激光淬火与中频感应淬火硬化层扫描电镜形貌

Fig. 3 SEM micrographs showing the hardened layer of 45CrNi steel

生的。所以过渡区为马氏体与回火索氏体的混合组织。淬硬层的马氏体组织使表层有足够高的硬度，高硬度保证了好的耐磨性，而心部的回火索氏体使内部有好的韧性和塑性。

图 3(c), (d) 分别为中频感应淬火试样的淬硬层与过渡区的扫描电镜照片。从图中可以看出，中频感应淬火后，硬化层为马氏体组织，但与激光淬火试样相比，中频感应淬火的淬硬层的马氏体比较细，析出的碳化物比较多。中频感应淬火试样的过渡区为马氏体与回火索氏体的混合组织，越靠近心部马氏体所占比例越小，而回火索氏体所占比例越大，从表层到心部其组织呈均匀的梯度分布。心部则完全为回火索氏体组织。这与激光淬火试样过渡区和基体的组织分布相同。

激光淬火试样的硬化层由板条马氏体和少量针状马氏体组成，图 4(a) 为激光淬火试样硬化层中板条(低碳)马氏体的 TEM 照片，图 4(b) 为激光淬火试样硬化层中针状(高碳)马氏体的 TEM 照片，针状马氏体使硬化层具有高的硬度，使试样表面具有较佳的硬度，而板条马氏体则保证硬化层具有良好的强韧性。

中频感应淬火试样的硬化层为板条马氏体和少量针状马氏体的混合物。同时，在淬硬层有大量的碳化物析出，大量的碳化物对表层有强化作用。但

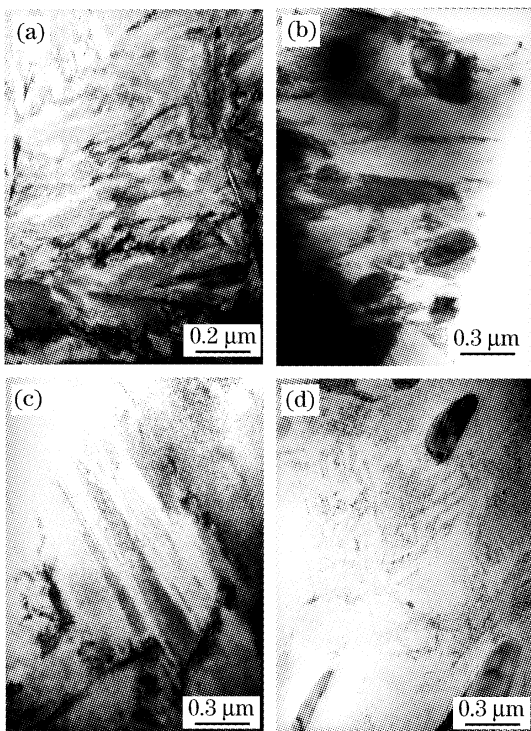


图 4 45CrNi 钢激光淬火与中频感应淬火硬化层 TEM 形貌
Fig. 4 TEM micrographs showing hardened laver of 45CrNi steel

是，碳化物过多使试样的机械性能产生不利的影响，这也是中频感应淬火试样耐磨性不如激光淬火试样的原因之一。

3.4 显微硬度分析

图 5 为激光淬火试样和中频感应淬火试样硬化层的硬度曲线。可以看出，两者的硬度曲线相差不大，有效硬化层深度均为 2 mm 左右，硬度为 HV700 左右。由于过渡区组织有一部分回火索氏体而使硬度急剧下降，而心部的组织全部为回火索氏体，所以硬度值降到 HV300。激光淬火后硬度高于同种材料的普通淬火的硬度，这主要是因为马氏体的亚结构比一般马氏体细，缺陷密度大，会使马氏体硬度上升。由于中频感应淬火试样表面大量碳化物的存在，使中频感应淬火试样表面硬度升高。这是激光淬火试样和中频感应淬火试样硬度相同的原因。

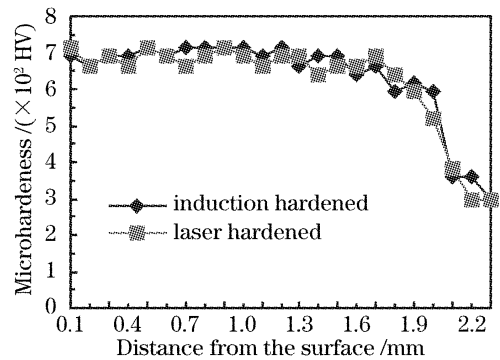


图 5 硬化层显微硬度曲线

Fig. 5 Microhardness curve of hardened layer

3.5 X 射线衍射分析

激光淬火试样和中频感应淬火试样淬硬层 X 射线衍射图如图 6 所示。可见，中频感应淬火试样所含残余奥氏体较多。在衍射图中看不到激光淬火试样的残余奥氏体，说明激光淬火试样中残余奥氏体的含量小于 5%，几乎都为马氏体。这是因为激光淬火的加热温度较高，达到完全奥氏体化，快速冷

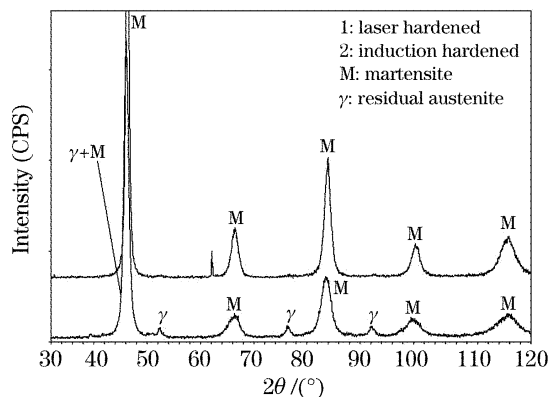


图 6 激光淬火与中频感应淬火 X 射线衍射曲线
Fig. 6 X-ray diffraction curve of hardened layer

却转变为马氏体。激光淬火试样表面的马氏体使试样表面有较高的硬度,高硬度使激光淬火试样的耐磨性好。

4 结 论

在载荷 50~250 N 条件下,45CrNi 钢激光淬火试样的磨损量小于中频感应淬火试样,耐磨性提高了 4%~21%。

中频感应淬火和激光淬火试样的主要磨损形式均为磨粒磨损,但中频感应淬火试样磨损后表面犁沟的深度和宽度大于激光淬火试样表面犁沟的深度和宽度。

45CrNi 钢激光淬火试样淬硬层为板条马氏体和少量针状马氏体的混合组织,同时还有微小的颗粒状碳化物析出;过渡区为马氏体和回火索氏体的混合组织。中频感应淬火试样淬硬层为板条马氏体

和少量针状马氏体的混合组织,同时有大量的碳化物析出;过渡区为马氏体和回火索氏体的混合组织

45CrNi 钢中频感应淬火试样碳化物含量多且碳化物颗粒大、残余奥氏体多。

参 考 文 献

- 1 C. Langlade, A. B. Vannes, J. M. Krafft *et al.*. Surface modification and tribological behavior of titanium and titanium alloys after YAG-laser treatments [J]. *Surface Coatings and Technology*, 1998, **100~101**: 383~387
- 2 Roy A, Manna I. Laser surface engineering to improve wear resistance of austempered ductile iron [J]. *Materials Science and Engineering*, 2000, **297**(1~2): 85~93
- 3 P. J. E. Moson, W. M. Steen. Comparison of laser hardfacing with conventional process [J]. *Surface Engineering*, 1990, **6**(3): 185~189
- 4 Solina A. Origin and development of residual stresses induced by laser surface-hardening treatments [J]. *J. Heat Treat*, 1984, **3**(3): 193~198
- 5 P. Merrien, H. P. Lieurade, M. Theobalt *et al.*. Fatigue strength of laser beam surface treated structural steels [J]. *Surface Engineering*, 1992, **8**(1): 61~65