58

45 钢表面激光合金化组织分析及硬度测试

邱星武

(四川建筑职业技术学院,德阳 618000)

摘要:目的 为了提高45 钢表面性能,采用 CO₂ 激光器对其表面进行合金化处理。方法 利用带 有能谱的扫描电子显微镜(SEM/EDS)、金相显微镜、X 射线衍射仪、显微/维氏硬度计、扫描电镜 等,对合金化层组织及性能进行了观察和分析。结果 激光合金化层由合金化区、结合区和热影 响区 3 部分组成,涂层与基体呈冶金结合;涂层主要含 Cr₃C₂,FeNi₃,Cr₂₃C₆,Fe₃C 相;激光合金化层 的显微硬度达 1032 HV,约为基体的 3.5 倍。结论 45 钢经激光合金化处理,可改善其表面性能, 显著提高其硬度。

关键词:激光合金化;显微组织;冶金结合;硬度

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2015.03.011

中图分类号: TG156.9; TG113.26 文献标识码: A 文章编号: 1674-6457(2015)03-0058-04

Microstructure Analysis and Hardness Test of Laser Alloying on 45 Steel Surfaces

QIU Xing-wu

(Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

ABSTRACT: In order to improve the surface properties of 45 steel, alloying treatment was carried out on its surface by CO_2 laser. The microstructure and properties of the alloying layer were researched by means of scanning electron microscope with energy spectrum (SEM/EDS), metallographic microscope, X-ray diffractometer and microscopic/Vickers hardness tester. The coatings of laser alloying layer were constituted by alloying zone, bonding zone and heat affected zone, and the combination between the coating and the substrate was metallurgical. $Cr_3 C_2$, FeNi₃, $Cr_{23}C_6$ and Fe₃C were the main phases in the alloying layer. The microhardness of the laser alloying layer reached 1032 HV, which was about 3.5 times that of the substrate. After laser alloying treatment, the surface properties of 45 steel were improved and the hardness was significantly increased.

KEY WORDS: laser alloying; microstructure; metallurgical bonding; hardness

激光表面合金化是金属材料表面局部改性处理 的一种新技术,属于材料表面改性处理的范畴。它是 指在高能量激光束的照射下,使基体材料表面薄层与 根据需要加入的合金元素同时快速熔化、混合,以很 快的冷却速度凝固成表面熔化层^[1-6],相当于急冷淬 火技术所能达到的冷却速度,又由于熔化层液体内存 在着扩散作用和表面张力效应等物理现象,可使材料 表面在很短的时间内形成具有一定深度和化学成分 的表面合金化层,快速熔化非平衡过程可使合金元素 在凝固后的组织达到相当高的饱和度,从而形成普通 合金化方法不容易得到的化合物、介稳相和新 相^[7—10]。激光表面合金化能够在一些价格便宜、表面

收稿日期: 2015-02-20

基金项目:四川省德阳市重点科学技术研究项目(2014ZZ095-4)

作者简介: 邱星武(1982—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为材料改性及新材料。

性能不够优越的基体材料表面上制出耐磨损、耐腐 蚀、耐高温、抗氧化的表面合金层,用于取代昂贵的整 体合金,节约贵重金属材料和战略材料,使廉价基体 材料得到广泛应用,从而使生产成本大幅下降。与常 规热处理相比,激光表面合金化能够进行局部处理, 而且具有工件变形小、冷却速度快、工作效率高、合金 元素消耗少、不需要淬火介质、清洁无污染、易于实现 自动化等优点,具有很好的发展前景^[11-13]。

45 钢是机械制造业中应用较广的一种钢种,其 具有较高的强、韧、塑性,但是其耐磨性并不理 想[14-16]。通常提高 45 钢硬度、耐磨性时一般采用淬 火+低温回火工艺。如果想进一步提高45钢的强度, 则韧性降低;而想提高韧性,则必须牺牲一定的强度, 这样就导致该材料的应用受到限制。而高能量激光 束的出现为45钢表面改性开辟了一条新的途径,本 文验证了45钢表面激光合金化涂层的组织与性能. 以期为拓展45钢的应用范围提供理论依据。

实验 1

1.1 材料

基体材料为45钢。合金化粉末选用 Ni35B 镍-铬自熔性合金粉末,其粒度范围为-140~320目;熔 点为1080 ℃。其化学成分为(质量分数,%):Cr: 10.0,B:2.5,Si:3.0,C:0.4,Fe<10,Ni:余量。

1.2 方法

先将基体试样用磨床磨平,再用丙酮对其清洗, 除去表面的污垢和油垢,减少对试样的污染。将合金 粉末用有机溶剂调匀后,用钢尺均匀地预涂覆在45 钢基体表面上。激光加工参数为:功率 P=1800 W, 扫描速度 v=6 mm/s,光斑直径 D=3.5 mm,加工过程 中用 Ar 气保护。

利用 GX71 金相显微镜、JSM-6700F 型场发射扫 描电子显微镜观察激光合金化层的组织形貌,并用 其附带的能谱仪测试微区成分;利用 XRD-7000 型 X射线衍射仪分析合金化层物相组成,条件为:Cu 靶,电压40 kV,电流40 mA,扫描角度为25°~90°, 扫描速度为4 (°)/min;利用 TUKON2100 显微/维 氏硬度计测试合金化层及基体的硬度,实验过程中 加载0.2 N,保压10 s,测7组数据,取平均值作为最 后结果。

分析与讨论 2

2.1 显微组织结构

图 1 为激光合金化层 X 射线衍射图谱,分析可 知,激光合金化层主要由 Fe₃C, Cr₃C₂, FeNi₃, Cr₂₃C₆ 相组成。



Fig. 1 X-ray diffraction pattern of the laser alloying layer

图 2 为合金化层组织照片,其中图 2a 为宏观形 貌金相照片。







b 结合区

图 2 合金化层显微组织 Fig. 2 Microstructure of the laser alloying layer

由图 2a 可见:合金化层表面平整、连续、光滑,内 部组织均匀,无明显缺陷,合金化效果理想。显微组 织由表及里分作 A, B, C 3 个区域, 从上向下依次为: 合金化区(A)、结合区(B)、热影响区(C)。热影响区 以下是基体。图 2b 为结合区 SEM 照片,可见,合金 粉末与基体的结合呈曲线状,说明形成了良好的冶金 结合,这种冶金结合有利于涂层的稳定存在,保证了 涂层与基体的连续性,从而具有优异的性能。图 2c 为合金化区显微组织 SEM 照片。合金化层与基体之 间的结合区的组织形貌形态为枝晶,沿着与界面垂直 的方向生长。

2.2 显微硬度

图 3 是合金化试样的显微硬度分布曲线。经激 光合金化处理后的试样表面显微硬度最高达到了 1032 HV,约为基体 45 钢的 3.5 倍。产生高硬度的原 因在于:一方面由于快速凝固,组织极其细小致密,为 获得高的硬度提供了保证;另一方面,合金化层中存 在的 Cr₂₃C₆,Cr₃C₂等硬质相使得合金化层硬度增加。 颗粒相的弥散强化、合金元素的固溶强化和马氏体相 变强化对合金化层显微硬度的提高也有一定作用。



图 3 激光合金化试样的显微硬度 Fig. 3 Microhardness of laser alloying samples

3 结论

 45 钢表面经激光合金化处理后改性层分为合 金化区、结合区和热影响区3部分,涂层与基体呈冶 金结合。

 激光合金化层主要由 Cr₃C₂, FeNi₃, Fe₃C, Cr₂₃C₆相组成。

 3)合金化处理后硬度显著提高,表面硬度约为 基体的3.5倍。

参考文献:

- QIU Xing-wu, ZHANG Yun-peng, LIU Chun-ge. Microstructural and Physical Properties of a Nickel- Chromium Alloy Powder Laser Alloyed onto a 45 Steel Surface [J]. Lasers in Engineering, 2014, 27 (3/4):257-265.
- [2] 张松,吴臣亮,王超,等.铁单元素基合金表面激光高熵

合金化涂层的制备[J]. 金属学报,2014,50(5):555—560.

ZHANG Song, WU Chen-liang, WANG Chao, et al. Synthesis of Laser High Entropy Alloying Coating on the Surface of Single-Element Fe Base Alloy [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2014, 50(5):555-560.

[3] 易云杰,楼程华,郭士锐,等.激光表面合金化制备镍钛 涂层的组织与性能[J].应用激光,2013,33(2):99— 103.

YI Yun-jie, LOU Cheng-hua, GUO Shi-rui, et al. Microstructure and Properties of Ni-Ti Coating Prepared by Laser Surface Alloying[J]. Applied Laser, 2013, 33(2):99–103.

- [4] HUSSAIN A, AHMAD I, HAMDANI A, et al. Laser Surface Alloying of Ni-plated Steel with CO₂ Laser[J]. Applied Surface Science, 2007, 253:4947–4950.
- [5] 吴岸琪,刘其斌,孙桂祥,等. Y₂O₃ 含量对 40Cr 钢激光 表面合金化组织与性能的影响[J].材料热处理学报, 2011,32(9):141—145.
 WU An-qi, LIU Qi-bin, SUN Gui-xiang, et al. Effect of Y₂O₃ Content on Microstructure and Properties of Laser Alloying Layer on 40Cr Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treahnent,2011,32(9):141—145.
 [6] 秦会常,胡亚民,孟祥岩,等. 40Cr 重载车轴断裂失效分
- 6] 秦宏帛, 朝亚氏, 血样岩, 等. 40Cr 重氧牛轴断裂天效分析[J]. 精密成形工程,2014,6(4):63—68.
 QIN Hui-chang, HU Ya-min, MENG Xiang-yan, et al. Fracture Failure Analysis of 40Cr Heavy Automobile Axle[J].
 Journal of Nestshape Forming Engineering, 2014, 6(4): 63—68.
- [7] 童昊,胡树兵,石凯源,等.45 钢激光合金化后的组织结构及性能[J].材料保护,2012,45(4):49—51.
 TONG Hao, HU Shu-bing, SHI Kai-yuan, et al. Microstructure and Performance of 45 Steel after Laser Surface Alloying
 [J]. Journal of Materials Protection,2012,45(4):49—51.
- [8] 姜伟,黄旭仁,夏毅锐.45 钢激光表面合金化[J]. 热加 工工艺,2009,38(24):162—163.
 JIANG Wei,HUANG Xu-ren,XIA Yi-rui. Laser Surface Alloying Coating on 45 Steel[J]. Hot Working Technology, 2009,38(24):162—163.
- [9] 张光明,崔祥鹏,史红燕.45 钢激光合金化铬钥硼组织结构及耐磨性研究[J].铸造技术,2012,33(8):939—941.

ZHANG Guang-ming, CUI Xiang-peng, SHI Hong-yan. Research on Wear Resistance and Organizational Structures of Coating Alloyed by Laser with Chromium, Molybdenum and Boron[J]. Foundry Technology, 2012, 33(8):939—941.

[10] 徐均琪,郭芳,苏俊宏,等. 激光薄膜的设计与制备[J]. 表面技术,2014,43(2):75—78.

XU Jun-qi, GUO Fang, SU Jun-hong, et al. Design and Prep-

60

aration of Thin Films for Laser System[J]. Surface Technology, 2014, 43(2):75-78.

- [11] DURAISELVAM M, GALUN R, WESLING V, et al. Cavitation Erosion Resistance of Ti6Al4V Laser Alloyed with TiC-reinforced Dual Phase Intermetallic Matrix Composites [J]. Materials Science and Engineering A, 2007, 454/455:63-68.
- [12] QIU Xing-wu, LIU Chun-ge. Microstructure and Properties of Al₂CrFeCoCuTiNi_x High-entropy Alloys Prepared by Laser Cladding[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2013, 553:216-220.
- [13] CHIU K Y, CHENG F T, MAN H C. Corrosion Behavior of AISI 316L Stainless Steel Surface-modified with NiTi [J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 200:6054–606.
- [14] 郝越峰,曹明让,曹一龙.一种45 钢表面电火花沉积 WC
 层的新方法[J].表面技术,2014,43(4):97—100.
 HAO Yue-feng, CAO Ming-rang, CAO Yi-long. A New

(上接第6页)

- [18] FANG T H, LI W L, TAO N R, et al. Revealing Extraordinary Intrinsic Tensile Plasticity in Gradient Nano-Grained Copper[J]. Science, 2011, 331 (6024) ;1587—1590.
- [19] 赵文娟,丁桦,曹富荣,等. Ti-6Al-4V 合金超塑性变形中 的组织演变及变形机制[J].中国有色金属学报,2007, 17(12):1973—1980.

ZHAO Wen-juan, DING Hua, CAO Fu-rong, et al. Microstructural Evolution During Superplastic Deformation of Ti-6Al-4V Alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2007,17(12):1973—1980.

[20] 陈国清,杜巍,王旭东,等. Al₂O₃-ZrO₂-Spinel 三元纳米复 相陶瓷超塑性变形及组织演变[J].稀有金属材料与工 程,2009,38(s2):110—113.

CHEN Guo-qing, DU Wei, WANG Xu-dong, et al. Superplastic Deformation and Microstructure Evolution of Ternary Nanocomposite Ceramic Al₂O₃-ZrO₂-Spine[J]. Rare Matal and Engineering, 2009, 38(s2):110–113.

[21] 于彦东,冯娟,吕新宇,等. 镁合金双层板超塑成形/扩散 连接工艺及模拟[J]. 材料科学与工艺,2011,19(1): 80—84.

YU Yan-dong, FENG Juan, LYU Xin-yu, et al. Study on Processing and Simulation of SPF/DB for Double-sheet of Magnesium Alloy [J]. Materials Science and Technology, 2011,19(1):80-84.

- [22] MCFADDEN S X, MISHRA R S, VALIEV R Z, et al. Low Temperature Super Plasticity in Nanostructured Nickel and Metal Alloys[J]. Nature, 1999, 398:684—686.
- [23] PAWELSKI O. Aehnlichke its theorie in der Umformtechnik. In: Dahl W, Kopp R, Pawelski O. Umformtechnik Plas-

Method of Depositing WC Alloying by EDM Technology on the Surface of 45 Steel [J]. Surface Technology, 2014, 43 (4):97—100.

- [15] 张燕瑰,邓劲松,魏宪波,等. 高强度钢性能及其在车身中的应用[J]. 精密成形工程,2013,5(4):64—68. ZHANG Yan-gui, DENG Jin-song, WEI Xian-bo, et al. A Study on Performance of High Strength Steel and Application in Bodywork [J]. Journal of Nestshape Forming Engineering,2013,5(4):64—68.
- [16] 华希俊,刘凯,周万,等.45[#]钢表面激光织构淬火减摩抗 磨复合处理技术研究[J].表面技术,2014,43(4):86—
 91.

HUA Xi-jun, LIU Kai, ZHOU Wan, et al. Research of Antifriction and Wear Resistance Composite Technology by Laser-texturing and Quenching on 45[#] Steel Surface [J]. Surface Technology, 2014, 43(4):86—91.

to-mechanik und Werkstoffkunde [M]. Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 1993:68-73.

- [24] VOLLERTSEN F, HU Z. Determination of Size-dependentfriction Functions in Sheet Metal Forming with Respect to the Distribution of the Contact Pressure [J]. Prod Eng Res Dev, 2008(2):345-350.
- [25] VOLLERTSEN F, BIERMANN D, HANSEN H N, et al. Size Effects in Manufacturing of Metallic Components [J]. Annals of the CIRP, 2009, 58:556-587.
- [26] UCHIC M D, SHADE P A, DIMIDUK D M. Micro-compression Testing of fcc Metals: a Selected Overview of Experiments and Simulations[J]. JOM, 2009, 61:36–42.
- [27] MaRA, NATHAN A, BHATTACHARYYA D, et al. TEM Characterization of Deformation and Failure Mechani [J]. Microse Microanal, 2009, 15:352-254.
- [28] JUSTINGER H, HIRT G. Estimation of Grain Size and Grain Orientation Influence in Microforming Processes by Taylor Factor Considerations [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209:2111-2121.
- [29] MANABE K, SHIMIZU T, KOYAMA H, et al. Validation of FE Simulation Based on Surface Roughness Model in Microdeep Drawing[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 204:89—93.
- [30] JIANG Cho-pei, CHEN Chang-cheng. Development of Micro V-bending System for Investigation Grain Size Effect of thin metal sheet[C]//2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, Tianjin, 2010: 276-280.