

文章编号: 1001-3806(2011)03-0425-03

1Cr18Ni9Ti 激光相变硬化层组织及性能

邱星武

(四川建筑职业技术学院 材料工程系, 德阳 618000)

摘要: 为了探讨 1Cr18Ni9Ti 不锈钢组织及性能的变化, 采用激光相变硬化处理的方法, 利用扫描电子显微镜、X 射线衍射仪、显微硬度计、磨损试验机、恒电位仪等研究了激光相变硬化层的组织及性能。进行了理论分析和实验验证, 取得了激光相变硬化层的硬度、耐磨性、耐蚀性数据。结果表明, 激光相变硬化层主要由奥氏体、马氏体、Fe-(Cr, Ni) 以及 Fe 等组成。随着激光功率的增大, 平均显微硬度先增加后减小, 在功率为 750W 时, 平均显微硬度达最大值, 为 223.5HK; 在功率为 550W 时, 耐磨性最好, 磨损率为基体的 56%。激光相变硬化处理后耐蚀性增强; 最小的维钝电流密度是基体的 33%, 最大的钝化稳定区长度是基体的 7 倍。这一结果对研究 1Cr18Ni9Ti 不锈钢组织及性能的转变是有帮助的。

关键词: 激光技术; 激光相变硬化; 1Cr18Ni9Ti; 显微组织; 硬度; 耐磨性; 耐蚀性

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.03.036

Microstructure and properties of laser transformation hardening layer on 1Cr18Ni9Ti

QIU Xing-wu

(Department of Material Engineering, Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

Abstract: To investigate the change of microstructure and properties, laser transformation hardening was carried out on 1Cr18Ni9Ti stainless steel, and the microstructure and properties of laser transformation hardened layers were investigated by means of scanning electron microscope, X-ray diffractometer, microhardnessmeter, abrasive wear testing machine, potentiostat etc. The hardness, wear resistance, corrosion resistance data of laser transformation hardening layer were obtained by theoretical analysis and experimental verification. The result indicated that the laser transformation hardening layer was mainly consisted of austenite, martensite, Fe-(Cr, Ni), Fe etc. With the increase of the laser power, the average microhardness of laser hardening layers increased first and then decreased. The average microhardness reached the highest (223.5HK) when laser power was 750W. Wear resistance reached the best (whose wear rate is 56% of the substrate) when the power was 550W. Corrosion resistance was improved after laser transformation hardening, passivation current density of the smallest dimension was 33% of the substrate, the maximum length of the passive zone of stability was seven times of the substrate. The results are helpful to study the change of microstructure and properties of 1Cr18Ni9Ti stainless steel.

Key words: laser technique; laser transformation hardening; 1Cr18Ni9Ti; microstructure; hardness; wear resistance; corrosion resistance

引言

激光加工技术实现了光、机、电技术相结合, 是一种先进制造技术, 目前正处于向传统制造技术中许多工艺过程积极渗透的阶段^[1-4]。近些年来, 以激光相变硬化为加工手段的表面改性技术得到迅速发展^[5-7]。激光相变硬化是指以高能密度的激光束照射工件表面, 使其需要硬化部位瞬间吸收光能并立即转化为热

能, 从而使激光作用区的温度急剧上升形成奥氏体, 经随后的快速冷却, 获得极细小马氏体和其它组织的高硬化层的一种热处理技术^[8-10]。

1Cr18Ni9Ti 为奥氏体不锈钢, 具有优良的工艺性能、机械性能及耐蚀性能, 广泛应用于核能业、石油业和化学等工业领域, 其在热处理过程中无法发生组织转变, 因此无法通过热处理强化。为了进一步提高其表面硬度及耐磨、耐蚀性, 作者利用 HL-1500 无氟横流 CO₂ 激光加工机对其表面进行相变硬化处理, 利用扫描电子显微镜和 X 射线衍射仪观察和分析不同功率激光条件下, 1Cr18Ni9Ti 不锈钢组织和性能的变化。并通过硬度、耐磨性和耐腐蚀性测试, 对 1Cr18Ni9Ti

作者简介: 邱星武 (1982-), 男, 助教, 现主要从事材料表面改性的研究。

E-mail: fallenrain 922@163.com

收稿日期: 2010-06-08; 收到修改稿日期: 2010-07-17

不锈钢表面激光相变硬化效果进行分析和论证。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验材料选用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢,其化学成分的质量分数为: $w_C \leq 0.0012$, $w_{Cr} = 0.17 \sim 0.19$, $w_{Ni} = 0.08 \sim 0.11$, $w_{Mn} \leq 0.02$, $w_P \leq 0.00035$, $w_S \leq 0.0003$ 。

1.2 实验方法

在 1Cr18Ni9Ti 不锈钢基体表面涂覆增吸收涂料,以提高表面对激光能量的吸收率。待涂层干燥后,利用 HL-1500 横流 CO₂ 激光加工机,对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢进行激光相变硬化处理。激光加工工艺参量如表 1 所示。激光相变硬化处理后,沿与激光扫描带垂直的

Table 1 Laser processing parameters

samples No.	laser power/W	scanning speed/(mm · s ⁻¹)	spot diameter/mm	defocusing distance/mm
A	850	6	4	10
B	750	6	4	10
C	650	6	4	10
D	550	6	4	10
E	450	6	4	10

方向将试样切开,试样横截面用 0# ~ 5# 金相砂纸打磨,抛光后用王水对试样进行腐蚀并用酒精清洗。

利用 SSX-550 型扫描电子显微镜和 XJL-02A 型立式金相显微镜观察激光相变硬化层显微组织。利用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪测试硬化层相结构,采用 Cu 靶,扫描范围为 20° ~ 100°。

利用 DMH-2LS 努氏显微硬度计测量改性层显微硬度。从距表面 0.05mm 处开始,沿深度方向,每隔 0.1mm 测量 1 次,平行测量 3 点取平均值做为该点硬度值,深度测量至基体。

利用 ML-10 磨料磨损试验机进行耐磨性实验,砂纸粒度 240 目,载荷 3kg,拉杆折返 4 次(单次直线距离 50mm)。用精度为 1×10^{-4} g 的 FA1104N 型电子天平称量磨损实验前后试样的重量,最后计算试样的单位面积的磨损量。

利用 ZF-3 恒定电位仪测定试样激光相变前后在 0.5mol/L 的稀硫酸溶液中的腐蚀行为。实验采用三电极体系,参比电极为饱和甘汞电极,辅助电极为铂电极。

2 实验结果与分析

2.1 显微组织观察及物相分析

激光相变硬化层截面的宏观形貌如图 1a 所示,激光相变区呈月牙形,由 3 部分组成,由表至里依次为相变硬化区,过渡区以及基体区。激光相变硬化层呈现

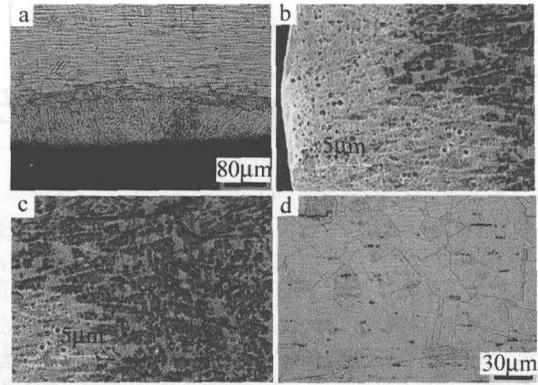


Fig. 1 Macrostructure of laser transformation hardening layer a—macroscopic b—transformation hardening zone c—transition zone d—substrate

细小的树枝晶状,方向与激光扫描方向垂直。

由图 1b 可知,相变硬化区为马氏体组织,这是由于高功率激光束具有快速加热快速冷却的特点,组织转变在极大的过热度 and 过冷度下进行,形成马氏体。

过渡区的组织形貌如图 1c 所示,组织主要为马氏体 + 残余奥氏体。这是因为在过渡区,受热温度较相变硬化区的小,温度梯度相对较小。原子的扩散和迁移不明显,奥氏体没能完全转化成铁镍化合物和铁铬化合物。由于相变不充分,未达到完全奥氏体化,所以晶粒较粗大。

基体区的组织形貌如图 1d 所示,组织为奥氏体。

图 2 为激光相变硬化层相结构的 X 射线衍射分

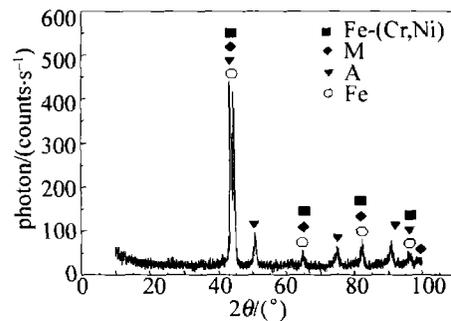


Fig. 2 X-ray diffractogram of laser transformation hardened layer

析,激光相变硬化处理后,除奥氏体、马氏体外,还生成了 Fe-(Cr,Ni) 及 Fe 单质相。

2.2 性能分析

2.2.1 激光功率对试样相变硬化区平均显微硬度的影响 图 3 为在其它工艺参量不变的情况下,激光功率对试样相变硬化区平均显微硬度的影响。由图 3 可知,在功率小于 750W 时,相变硬化区平均硬度值随功率的增大有增大的趋势,而在大于 750W 时,相变硬化区平均硬度值随功率的增大有减小的趋势。这是因为,当功率小于 750W 时,随着激光功率的增大,硬化层组织中晶体缺陷和晶格畸变大,物相和缺陷增多,这些物相和缺陷起着明显的强化作用,所以硬度值增大。当功率大于 750W 时,随着功率的增大,加热速度也相

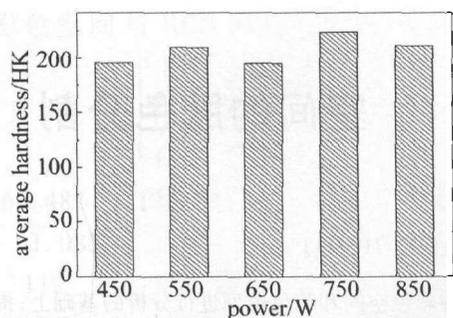


Fig. 3 Influence of laser power on hardened zone average microhardness
应提高,但高温维持时间延长,平均冷却速度减小,其综合作用使得硬化层内马氏体内组织相对粗大;同时,冷却速度的减小使硬化层组织中晶体缺陷和晶格畸变有所削弱,使表面硬度随激光功率的增加而有所减小。

2.2.2 激光功率对试样耐磨性的影响 图4为在其

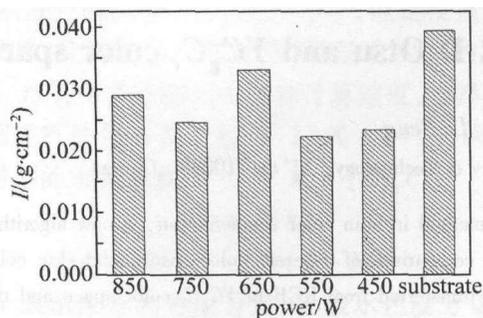


Fig. 4 Influence of laser power on wear resistance

它参量不变的情况下,激光功率对激光相变硬化层磨损率的影响。磨损率即单位面积磨损量 $I = (\text{磨损前的质量} - \text{磨损后的质量}) / \text{磨损面积}$ 。磨损率越低,耐磨性越好;磨损率越高,耐磨性越差。

由图可知,经激光处理的试样的耐磨性比基体的耐磨性增强,这是因为经过激光处理后,发生相变,起到了相变强化的作用。当功率小于650W时,随着激光功率的增大,试样耐磨性先增大后减小;当功率大于650W时,随着功率的增大,试样耐磨性也是先增大后减小。在功率为650W时,磨损率最大,耐磨性达到最小值。原因是:当功率小于650W时,随着激光功率的增大,奥氏体晶粒吸收的能量多,容易长大,冷却时,容易形成粗大的马氏体以及残余奥氏体晶粒。数量较多残余奥氏体的存在使得耐磨性减小。但是随着功率的进一步增大,残余奥氏体数量减少,马氏体数量增多,使得试样的耐磨性增大。当功率大于650W时,随着激光功率的进一步增大,相变发生更加充分,物相增多,晶体缺陷(位错、空位、间隙原子等)也增多。这些物相和缺陷起着明显的强化的作用,所以硬度值增大。但是,激光功率再增大时,形成杂质带,这些硬质相及杂质带的存在,使得晶粒间易产生缺陷,所以耐磨性降低。

图5为基体和激光相变硬化层的磨粒磨损形貌。

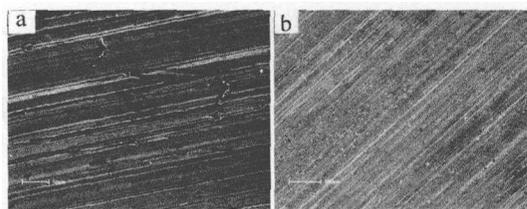


Fig. 5 Morphology of abrasive wear
a—substrate b—laser transformation hardening layer

由图可见,基体的磨损较严重,出现了很深的犁沟并有琐碎金属附着在上面,而激光相变硬化层的磨损相对较轻,磨损表面较平滑,说明经激光相变硬化处理后耐磨性增强。

2.2.3 激光功率对试样耐蚀性的影响 图6为不同

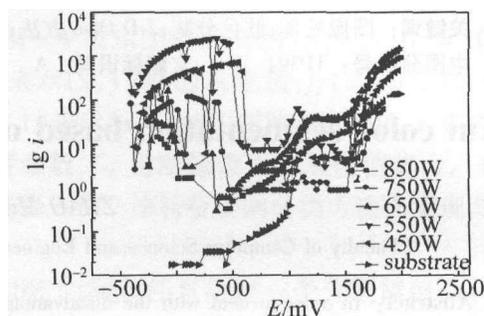


Fig. 6 Influence of laser power on corrosion resistance

激光功率条件下试样及基体的阳极极化曲线。图中横坐标 E 为自腐蚀电位,纵坐标中 i 为自腐蚀电流密度。

由图可知,经过激光处理试样的极化曲线大体分为4个区:活性溶解区、钝化过渡区、钝化稳定区以及过钝化区,而基体极化曲线却没有出现活性溶解区。经过激光处理后,试样极化曲线钝化稳定区普遍增大,耐蚀性增强。这是因为经过激光相变硬化处理,试样组织结构发生了变化,表明形成的细小致密组织为良好的耐蚀性提供了保证。在试验中还发现,当激光功率为650W时,钝化稳定区小,但是致钝电流密度和维持钝电流密度均比较小。针对整组数据而言,最小的维持钝电流密度是基体的33%,最大的钝化稳定区长度(1050mV)是基体(150mV)的7倍。

3 结论

(1) 激光相变硬化层主要由相变硬化区、过渡区和基体区3部分组成。其组织依次为:马氏体、马氏体+残余奥氏体、奥氏体。激光相变硬化层主要由奥氏体、马氏体、Fe-(Cr, Ni)以及Fe等组成。(2) 当功率小于750W时,相变硬化区的平均显微硬度随着激光功率的增大而减小;当激光扫描功率大于750W时,相变硬化区的平均显微硬度随着激光功率的增大有减小的趋势。在功率为750W时,平均显微硬度达到最大值。(3) 激光相变硬化处理后耐磨性、耐蚀性均有提

(下转第432页)

5 结论

介绍了彩色图像人脸检测中常用的几种彩色空间和肤色模型,提出了一种基于 YC_gC_r 色彩空间和改进的 2-D Otsu 的肤色分割方法。首先在 YC_gC_r 色彩空间中通过离线训练建立肤色模型;然后利用该肤色模型对待分割图像进行肤色相似度计算,得到肤色相似度图像;进而结合像素的空间邻域信息,使用改进的 2-D Otsu 方法对肤色相似度图像进行二值化处理。实验结果表明,该肤色分割方法有效克服了使用固定阈值法进行图像分割时出现的缺乏针对性和抗噪性的缺陷。

参考文献

- [1] YANG M H, KRIEMAN D J, AHUJA N. Detecting faces in images: a survey [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1):34-58.
- [2] ABUTALEB A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two dimensional entropy[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1989, 47(1):22-32.
- [3] ZHOU M. Low SNR infrared weak target image segmentation algorithm[J]. Laser & Infrared, 2004, 34(2):225-228 (in Chinese).
- [4] DU G. Eye location method based on symmetry analysis and high-order fractal feature[J]. Image Signal Processing, 2006, 153(1):11-16.
- [5] HSIEH I S, FAN K C, LIU C. A statistic approach to the detection of human faces in color nature scene [J]. Pattern Recognition, 2002, 35(7):1583-1596.
- [6] TSAI C C, CHENG W C, TAUR J S. Face detection using eigenface and neural network[C]//2006 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC'06). Taipei, Taiwan, China; IEEE Computer Society, 2006:4343-4347 (in Chinese).
- [7] de DIOS J J, GARCIA N. Face detection based on a new color space YC_gC_r [C]//Proceedings of the 2003 International Conference on Image Processing (ICIP'03). Barcelona, Catalonia, Spain; IEEE Computer Society, 2003: 909-912.
- [8] KAKUMANU P, MAKROGIANNIS S, BOURBAKIS N. A survey of skin-color modeling and detection methods[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(3):1106-1122.
- [9] CHAI D, NGAN K N. Locating facial region of a head-and-shoulders color image[J]. Proceedings of the 3rd. International Conference on Face & Gesture Recognition(FG'98). Nara, Japan; IEEE Computer Society, 1998:124-129.
- [10] YANG M H, AHUJA N. Detecting human faces in color images [C]//Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'98). Chicago, Illinois, USA; IEEE Computer Society, 1998:127-130.
- [11] YANG M H, AHUJA N. Gaussian mixture model for human skin color and its application in image and videodatabases[C]//Proceedings of SPIE: Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases. San Jose, California, USA; International Society for Optical Engineering, 1999:458-466.
- [12] XIA Y, ZHAO R C. A new thresholding algorithm using spacial information[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2002, 7(4):235-239 (in Chinese).
- [13] WEZKA J S, ROSENFELD A. Histogram modification for threshold selection[J]. IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 38-52.
- [14] KIRBY R L, ROSENFELD A. A note on the use of gray level, local average gray level space as an aid in threshold selection[J]. IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, 1979, 9(12):860-864.
- [15] CHANDA B, MAJUMDER D D. The note on the use of gray level co-occurrence matrix in threshold selection[J]. Signal Processing, 1988, 15(2): 149-167.
- [16] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [17] ZHAO M H, YOU Zh Sh, YU J, *et al.* Pose robust face recognition based on CASPCM model[J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 429-431 (in Chinese).

(上接第 427 页)

高。最佳的磨损率为基体的 56%;最小的维钝电流密度是基体的 33%,最大的钝化稳定区长度是基体的 7 倍。

在此感谢辽宁工程技术大学材料科学与工程学院高能束加工中心在实验工作方面的资助。

参考文献

- [1] HE Q, SU H L, LIU H Z. Research on 40Cr steel for high-speed spinde laser transformation hardening technics[J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(8):2192-2195 (in Chinese).
- [2] WU G, SONG G M, HUANG W J. Influence of laser processing parameters on the case-depth and the hardness[J]. Laser Technology, 2007, 31(2):163-165 (in Chinese).
- [3] HUANG K J, XIE C H, XU D S. State of the arts of pulsed laser remelting and pulsed laser phase transformation[J]. Laser Technology, 2003, 27(2):130-133 (in Chinese).
- [4] YAO M J, ZHAO D, LIANG E J. Laser surface hardening for cutting fibre roller [J]. Heat Treatment of Metals, 2003, 28(2):42-45 (in Chinese).
- [5] HUA Y Q, CHEN R F, YANG J C, *et al.* Study on wear-resistance of laser quenched and shocked 40Cr steel [J]. Tribology, 2003, 23(5):448-450 (in Chinese).
- [6] LIU L, WU D J, LI S C, *et al.* Microstructure and wear resistance of laser hardening layer on 30CrMnSiA steel [J]. Applied Laser, 2003, 23(2):69-70 (in Chinese).
- [7] SUN Q L, SUN J. The application and development thughtfulness of laser surface treatment technology in laigang [J]. Laser Journal, 2001, 22(3):21 (in Chinese).
- [8] MA K, YANG Y L, WANG Ch Sh, *et al.* Effect of laser hardening technical parameters on hardened depth of 40Cr steel [J]. Laser Technology, 2002, 26(4):262-263 (in Chinese).
- [9] ZHANG P L, DING M, YAO Sh, *et al.* Research of laser transformation hardening on mild steel [J]. Laser Technology, 2009, 33(6): 586-589 (in Chinese).
- [10] YE Y X, FU Y H, YANG G C, *et al.* Study on laser phase transformation hardening of HT250 by high speed axis flow CO₂ laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, 29(10):945-947 (in Chinese).