

1Cr18Ni9Ti 激光表面强化工艺的研究

韩莉, 姜伟

(海军航空工程学院青岛分院航空机械系, 山东 青岛 266041)

[摘要] 为提高奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 的硬度, 对其表面进行激光表面强化处理, 分析了金相组织和显微硬度以及工艺参数对硬度的影响, 进行了硬度分布的曲线拟合以及拟合结果的检验。试验结果表明: 采用激光表面强化工艺可以获得晶粒细小、硬度高于基体硬度的强化层, 最高硬度达 224HV; 在一定范围内电流越大, 硬度越高; 扫描速度越慢, 硬度越高。

[关键词] 激光表面强化; 晶粒细化; 奥氏体不锈钢

[中图分类号] TG156.99

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0062-02

Study on the Laser Surface Strengthen Process of 1Cr18Ni9Ti

HAN Li, JIANG Wei

(Department of Aeronautical Engineering of Qingdao Branch of

Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

[Abstract] The laser surface strengthening technology was carried on the surface of austenite stainless steel 1Cr18Ni9Ti in order to enhance the degree of micro-hardness of stainless steel surface. The microstructure and the micro-hardness as well as the influence to the degree of micro-hardness by the craft parameter have been analyzed. The distribution curve fitting of degree of micro-hardness as well as the fitting result examination has been carried on. The result shows that the strengthened layers with tiny crystal grain and higher degree of micro-hardness than the substrate's are obtained. The highest degree of micro-hardness reaches 224HV. The degree of micro-hardness is higher along with bigger electric current and lower scanning velocity.

[Key words] Laser surface strengthening; Nice crystal; Austenite stainless steel

0 引言

激光表面改性是材料表面工程技术最新发展的领域之一。激光表面相变强化作为激光表面处理技术的一个分支有很多优点^[1]: 处理层组织细化、加热速度快; 对工件中的特殊部位, 诸如槽内壁、槽底小孔、深孔、盲孔、长腔筒内壁等, 都可实现表面强化; 能精确控制硬化层深度; 可实现自冷淬火, 避免了对环境的污染。所以, 激光表面强化成为目前国内外研究和应用最多的技术。

奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 具有优良的机械性能、工艺性能和耐蚀性, 除了主要用于制作耐蚀性要求较高及需要冷变形和焊接的低载荷零件, 还广泛应用于仪表、电力等工业制作无磁性零件^[2]。但是奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 硬度不足, 使其应用受到一定的限制。本文将利用激光表面强化技术对奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 表面进行强化, 借此来解决其表面硬度不足的问题。

1 试验方法

采用 JHM-1GX-200B 型脉冲激光器 (波长为 $1.06\mu\text{m}$, 最大

工作电流 400A, 脉冲宽度 0.1 ~ 15ms, 最大单脉冲能量 60J) 处理试样。选择电流、扫描速度 2 个基本实验参数, 电流分别取 120、140、150、160、170A, 扫描速度分别取 1.4、1.2、1.0、0.8、0.6 mm/s, 进行组合实验 25 次。试样经激光表面强化处理后, 采用 XJZ-6A 型金相显微镜观察并拍摄处理层的显微组织; 采用 HVS-1000 型显微硬度计测量处理层的显微硬度 (加载 0.98N, 加载时间为 20s); 以从试样的表面垂直测至比基体显微硬度值高 $\text{HV}_{0.1}20 \sim 30$ 处的距离为处理层厚度^[3]。然后运用数学方法分析试样表面硬度的分布, 并进行曲线拟合。

2 试验结果与分析

2.1 金相组织分析

图 1a、图 1b 分别表示了不锈钢 1Cr18Ni9Ti 未经过激光表面硬化处理的原始组织和电流为 140A, 扫描速度为 1.0mm/s 时, 经过处理后的细化组织。可以看到, 在图 1b 中 1Cr18Ni9Ti 的晶粒由于经过激光表面强化处理而显著细化。这是由于脉冲激光处理在加热的过程中骤冷骤热, 因此可以获得极大的过冷度, 晶粒来不及长大, 使得晶粒在短时间内得以充分细化。

2.2 显微硬度分析

对改变电流和扫描速度的试样表面分别进行了显微硬度的测定, 测试结果如图 2、图 3 所示, 可以看出: 电流越大, 激光密

[收稿日期] 2007-12-03

[作者简介] 韩莉 (1978-), 女, 山西太原人, 讲师, 硕士, 主要从事表面改性方面的研究。

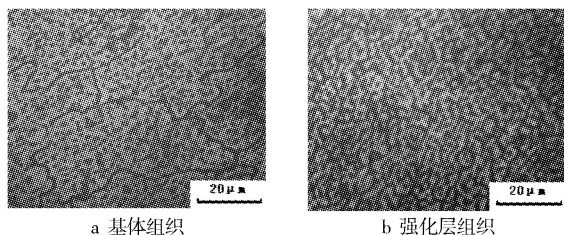


图 1 1Cr18Ni9Ti 经激光表面强化处理后的金相组织

Figure 1 Microstructure of 1Cr18Ni9Ti steel by laser surface strengthening
度越高,试样表面被加热的温度就越高,最终冷却后得到的硬度也就越高;扫描速度越慢,激光束与试件表面作用时间较长,熔池中熔体吸收较多的能量,表面强化效果就越好,从而使表面硬度越高。

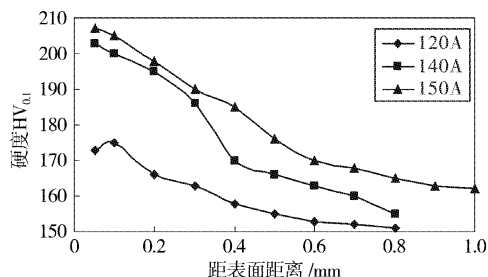


图 2 不同电流下激光表面强化的硬度分布曲线(扫描速度 0.8mm/s)

Figure 2 Micro-hardness distribution curve by laser surface strengthening in different electric current

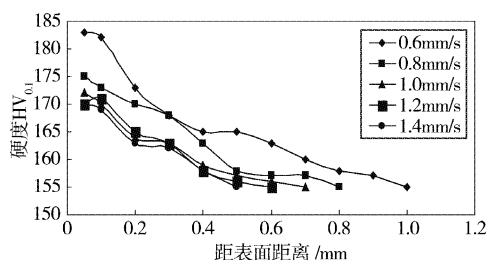


图 3 不同扫描速度下激光表面强化的硬度分布曲线(电流 120A)

Figure 3 Micro-hardness distribution curve by laser surface strengthening in different scanning velocity

激光相变硬化后,淬硬层的组织细化,硬度比常规高出 15% ~ 30%。这是因为激光加热相变完成时间很短,同时,加热区域的温度梯度很大,造成奥氏体相变在过热度很大的高温短时间内完成,相变晶核既可以在原晶界和亚晶界形核,也可以在相变界面和其他晶体缺陷处形核。因此,快速加热相变结果,可获得超细晶粒,还可使马氏体中的位错密度增加,碳来不及扩散,奥氏体中碳含量相当大,在奥氏体向马氏体的转变中,出现高碳马氏体,致使硬度提高。激光相变硬化过程中各种因素共同促成了硬度的提高。故当电流为 140A,扫描速度为 1.0mm/s 时,最高硬度可达 224HV。

3 硬度分布的曲线拟合

为了定量地研究不锈钢 1Cr18Ni9Ti 激光处理后硬度的分布情况,对试样(处理参数为电流 140A,扫描速度为 1.0mm/s)

所测量的硬度数据进行了多项式曲线的拟合,结果如图 4 所示。

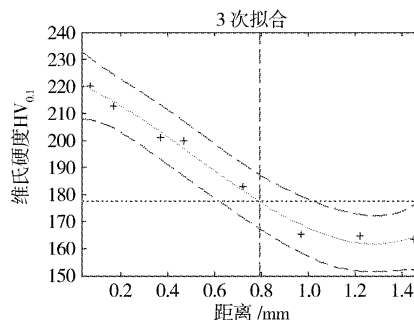


图 4 激光表面强化后硬度分布的曲线拟合图

Figure 4 Distribution curve fitting of degree of micro-hardness by laser surface strengthening

在图 4 中,横坐标代表测量点至表面的距离(mm),纵坐标代表维氏硬度值($HV_{0.1}$)。“+”形点线代表原始离散值;3 条曲线中,中间的细实线代表拟合的曲线,而上下 2 条虚线代表利用最小二乘拟合时的 95% 置信区间。将参数从图形窗口输出,得到所拟合曲线的方程:

$$H = 35.39x^3 - 54.6871x^2 - 34.694x + 221.6645$$

考虑到硬度对于材料的重要性,运用最小二乘原理,拟合出硬度的分布曲线,为了检验拟合的结果,画出残差的误差条图,图中给出了误差的均值和 95% 的置信区间,如图 5 所示。从图 5 中可以看出,所有的误差条均通过了中间的零线,并且残差值很小,因此,前面所拟合的曲线与原始数据的趋势是很逼近的,符合要求。

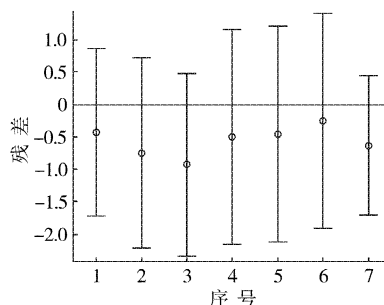


图 5 曲线拟合残差的误差

Figure 5 Error of curve fitting

将维氏硬度比基体组织高 20 ~ 30HV 以上者皆算作硬化层,考虑各种误差的基础上,通过测量得出基体组织的维氏硬度值,然后在此值的基础上加上 20HV,此即为硬化层深度。根据图 4 所示的横坐标,可以看出硬化层深度 0.79235mm。依据以上原理对其余试样所测量的数据进行了同样的处理,可以看到处理层深度在 0.2 ~ 1mm 之间。

4 结 论

1) 利用激光表面强化技术对奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 进行处理后可以提高材料的硬度,根本原因在于冷却速度较快,硬化层晶粒较基体晶粒显著细化。

2) 处理过程中电流和激光扫描速度是 2 个重要的参数。
(下转第 88 页)

对多孔端面的机械密封作了摩擦性能试验,结果表明多孔端面机械密封的摩擦因数比普通机械密封要低得多^[14]。2007年,南京理工大学的熊党生、万轶等人在T8钢盘表面进行微孔化处理,并测试了其在不同载荷和速度下的摩擦学性能^[15]。

从20世纪90年代末期开始,江苏大学一直在进行激光表面造型技术的理论和实验研究。2002年,该校蔡兰、符永宏等人对G427型发动机硼铸铁缸套内壁进行了激光表面造型,经过1000h台架耐久性能试验后表明,激光表面造型后的缸套耐磨性比标准缸套高4~5倍^[7]。此后,该校不断将激光表面造型技术应用于机械密封、凸轮轴等摩擦副的表面处理,均收到了良好的效果。2005年,王霄、钱振华等人研制成功了专门用于摩擦副零件表面形貌加工的激光微造型设备,并申报了国家发明专利^[16]。同时,利用该设备已经成功加工出兼具微观润滑凹腔和宏观泵送螺旋槽的新型机械密封,如图3所示。2006年,符永宏、华希俊等人做了大量激光表面造型工艺试验^[17],进一步掌握了对表面加工质量的控制,这标志着激光表面造型技术已基本成熟。

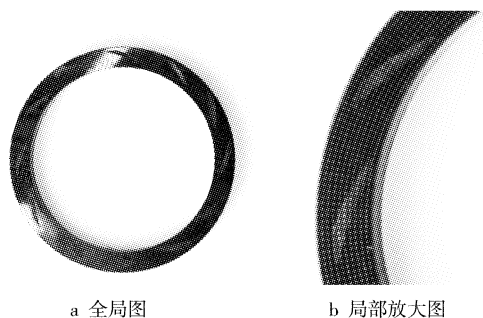


图3 兼具微观润滑凹腔和宏观泵送螺旋槽的机械密封
Figure 3 The mechanical seal having both lubricative micropores and macroscopical spirality pumping grooves

4 结 语

激光表面造型技术是一种新型表面处理技术,具有加工速度快、加工精度高、工艺周期短、工件变形小、能源消耗低、环境污染小、不受材料限制、工艺过程易实现计算机控制等优点,非常适合用于发动机气缸套、活塞环、端面机械密封环、凸轮轴、推力轴承等重要摩擦副的表面处理。目前,该技术的应用已基本成熟,但相关方面的理论研究较少,激光表面造型改善摩擦副摩擦性能的机理尚待理论证明。

经激光表面造型处理后的摩擦副,其耐磨性得到大幅提高,使用寿命大大延长,使能源消耗得到有效降低。因此,随着世界各国对机械装置、装备的稳定性及其能源消耗率要求的日益苛刻,以及环保意识的日益增强,激光表面造型技术必将展现更为广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 温诗铸. 摩擦学原理[M]. 北京:清华大学出版社,1990. 1-3
- [2] 王霄,夏立齐,高传玉,等. 表面微造型技术改善物体表面摩擦性能的研究[J]. 润滑与密封, 2006, (4): 167-170

- [3] 于新奇,蔡仁良. 激光加工多孔端面机械密封[J]. 河北科技大学学报, 2004, 25(1): 26-28
- [4] Stephens L S, Siripuram R, Hyden M, et al. Deterministic micro asperities on bearings and seals using a modified LIGA process [J]. J. Eng. Gas Turbines Power, 2004, 126(1): 147-154
- [5] Siripuram R, Stephens L S. Effect of deterministic asperity geometry on hydrodynamic lubrication [J]. J. Tribol, 2004, 126(7): 527-534
- [6] 符永宏,叶云霞,张永康. 用于显著改善摩擦副润滑状态的激光珩磨技术[J]. 机械工程学报, 2002, 38(8): 115-117
- [7] 蔡兰,符永宏,叶云霞. 激光珩磨技术在气缸表面处理中的应用[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2002, 23(1): 5-8
- [8] Wang Xiao, Qian Zhenhua, Liu Huixia, et al. Research and development on YAG laser micro-texturing system of multi-Friction units working surface [J]. Proc. of the International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, 2005, 2: 1408-1411
- [9] Etsion I. Enhancing sealing and dynamic performance with partially porous mechanical face seals [J]. Tribology Transactions, 1994, 37(4): 701-710
- [10] Etsion I, Higerman Y, Halperin G. Analytical and experimental investigation of laser-textured mechanical seals faces [J]. Tribology Transactions, 1999, 42(3): 511-516
- [11] Etsion I. State of the art in laser surface texturing [J]. Transactions of the ASME, 2005, 127(1): 248-252
- [12] Grimm Hans, Lang Walter, Bergen Karl-Heinz, et al. Method of finishing a surface of a workpiece [P]. US Pat: US5441439, 1995-08-15
- [13] Ludolf Herbst, Horst Lindner, Mike Heglin, et al. Targeting diesel engine efficiency [J]. Industrial Laser Solutions, 2004, 19(10): 32-35
- [14] 于新奇,何松,蔡仁良,等. 激光加工多孔端面机械密封的摩擦特性试验研究[J]. 流体机械, 2003, 31(1): 7-9
- [15] 万轶,熊党生. 激光表面微孔化改善端面密封的摩擦学性能[J]. 润滑与密封, 2007, 32(2): 29-31
- [16] 王霄,钱振华,蔡兰,等. 摩擦副零件表面形貌的激光微造型方法及设备[P]. 中国专利:CN200610040199.6, 2006-11-08
- [17] 符永宏,华希俊,陶根宁,等. 摩擦副表面激光微造型工艺试验研究[J]. 应用激光, 2006, 26(5): 295-298

(上接第63页)

电流越大,表面硬度就越高;但电流不能过大,否则可能熔化表面,反而使机械性能下降。激光扫描速度越慢,硬度越高;但激光扫描速度过慢也会造成表面过度熔化而影响机械性能。

3) 本试验条件下,最优的参数为电流140A,扫描速度1.0 mm/s,采用此参数进行试验得到的硬度值可达224HV。

[参 考 文 献]

- [1] 戴达煌,周克崧,袁镇海. 现代材料表面技术科学[M]. 北京:冶金工业出版社,2004. 265-266
- [2] 陈天玉,不锈钢表面处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 258-260
- [3] JB2849-80,钢铁零件渗氮层金相检验[S].