

## 激光对 2Cr13 冲击韧性影响研究

周鹏程,冯爱新,聂贵锋,王俊伟,韩振春,施芬,李彬  
(江苏大学机械工程学院,江苏 镇江 212013)

**摘要:**为了研究激光冲击强化对马氏体不锈钢 2Cr13 冲击韧性的影响,选用不同激光工艺参数对 2Cr13 马氏体不锈钢进行激光冲击强化,测定了激光冲击前后的冲击韧性,残余应力,观察了冲击试样的显微组织以及冲击断口。研究表明:选择合适的激光功率密度能有效改善材料的冲击韧性,过大的激光功率密度反而降低材料的冲击韧性性能;激光冲击后在表层产生了较高的残余压应力;激光冲击区的材料组织发生碎裂;从冲击断口观察发生了沿晶断裂,激光冲击增加了韧窝的产生,冲击韧性得到了提高。

**关键词:**激光冲击;2Cr13 不锈钢;冲击韧性

**中图分类号:**TN971 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.11.007

## Impact toughness of 2Cr13 martensite stainless steel induced by laser

ZHOU Peng-cheng, FENG Ai-xin, NIE Gui-feng, WANG Jun-wei

HAN Zhen-chun, SHI Fen, LI Bin

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In order to research the influence of laser shock processing (LSP) on 2Cr13 steel's impact toughness, 2Cr13 martensite stainless steel was strengthened by laser shock processing. Impact toughness and residual stress were measured. The microstructure and fracture surface were observed as a function of laser shock processing parameters. The results show that the impact toughness increases as the laser power density increases when laser power density is within an appropriate range. The compressive residual stress is induced by laser shock processing. The micro-structure of the shock zone was fractured and studied. From the micrograph of the fracture surface, the morphologies exhibit brittle fracture. The dimple is increased with LSP, so the impact toughness is improved.

**Key words:** laser shock processing; 2Cr13 martensite stainless steel; impact toughness

### 1 引言

在国内外时常发生材料脆性断裂的事故,由于脆断的发生,往往带来巨大的经济损失,甚至人员伤亡,因而受到了人们的广泛重视。由此,材料在一定环境下必须具有足够的塑性和韧性<sup>[1]</sup>。为此,针对提高金属材料的韧性的方法已有探讨,比如通过调整合金元素,降低杂质含量,提高钢的纯净度,合适的形变热处理以及亚温淬火等方式改善其韧性。

激光冲击强化作为一种新型表面改性技术,一般来说可以提高金属材料的表面硬度、耐磨性、抗疲劳性<sup>[2-5]</sup>。在提高表面硬度、耐磨性、抗疲劳性的同时是否会对冲击韧性产生影响,并且有多大的影响,显得尤为重要。但是目前激光冲击强化对金

作者简介:周鹏程(1986-),男,硕士,主要研究方向为激光冲击强化与应力检测。E-mail:zhoupenchen@126.com

收稿日期:2012-03-22;修订日期:2012-04-18

属材料的冲击韧性却鲜有报道,江苏大学的顾永玉<sup>[6]</sup>等人研究了激光冲击对陶瓷材料的冲击韧性影响,发现激光冲击可以提高其冲击韧性,然而激光冲击是否对2Cr13这种材料的韧性产生影响,却很少有研究。本文以试验考察激光冲击强化处理不锈钢2Cr13,并进一步探索了不同激光能量对2Cr13冲击韧性的影响,并分析了激光冲击前后的残余应力、微观组织变化及断口形貌。

## 2 试验

### 2.1 试验设备及材料

激光冲击试验采用Nd:YAG气体激光器,冲击韧性测试是在JBH-300冲击试验机上进行,冲击试验严格按照冲击试验机检验标准进行。试验材料选择2Cr13,试样根据GB/T 229-2007金属夏比缺口冲击试验方法,缺口采用V形缺口,尺寸为55 mm × 10 mm × 10 mm,其尺寸示意图如图1所示,试样缺口底部不应有明显的机加工划痕<sup>[7]</sup>。将激光冲击后的试样,利用X-350进行残余应力的测定,再将试样沿光斑直径方向剖开,制成金相样品,用光学显微镜观察试样的组织成分,对于断口部分利用SEM进行观察和分析。

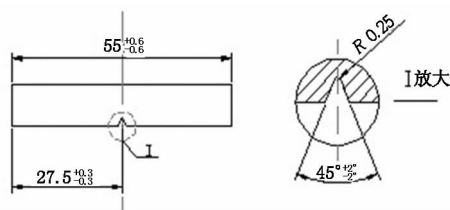


图1 冲击试样尺寸示意图

### 2.2 激光冲击试验

激光冲击强化试验是Nd:YAG脉冲激光器装置上进行,激光脉冲能量为3~12 J,脉宽达10 ns。对2Cr13试样激光冲击处理时,在其表面贴上0.1 mm的铝箔作为吸收层,增加材料对激光能量吸收率,选用水作为约束层,有效增强激光冲击波压力,并延长其持续时间,冲击方式为多点冲击,搭接率为50%。

### 2.3 测定残余应力试验

利用X-350残余应力测量仪对冲击后的2Cr13进行残余应力的测试,采用侧倾固定法测量,辐射特征为Cr-K $\alpha$ ,2 $\theta$ 角为153°~158°,侧倾角分别为0°,25°,35°,45°,扫描步距为0.1°,管电压采用20 kV,电流为5.0 mA,准管直径为1 mm。

### 2.4 冲击韧性检测试验

为了测定材料的冲击韧性,将激光冲击后的试

样放在JBGD-300冲击试验机上,缺口位于冲击相背方向,并使缺口位于支座中间,然后使摆锤举至一定高度,将摆锤释放将试样冲断,冲击试验机最大量程为300 J,摆锤撞击试样时的速度为5.3 m/s。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 激光冲击对冲击试验结果的影响

本实验通过JBH-300试验机测得2Cr13冲击韧性值,激光未冲击和不同的激光能量冲击后的试样测得冲击韧性,测得结果如图2所示(每组取三个试样的平均值)。

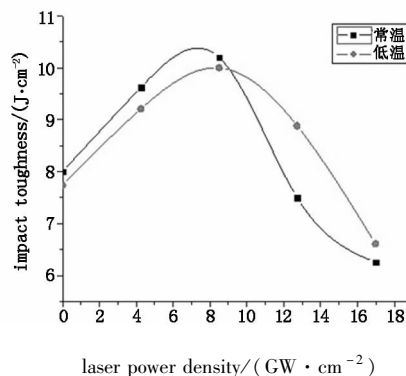


图2 冲击试验结果

从上面所述的关系图可以看出不锈钢不同温度下的冲击韧性同激光冲击强化工艺参数之间的关系,从图2的结果可以看出,激光功率密度是能够对实验钢的韧性产生影响的,无论是在常温下还是在低温-10℃下,随着激光功率密度的增加,冲击韧性先增加后减少,在激光功率密度为8.57 GW/cm<sup>2</sup>冲击后的试样与未冲击的试样冲击韧性值相比得到了明显的提高,超过该功率密度,冲击韧性下降。比较清楚的原因是由于激光冲击2Cr13的试样,在表面形成了残余压应力层,碎化了表面晶粒,延缓了裂纹的扩展,改善了实验钢的冲击性能。同样从图中关系也说明了合适的激光工艺参数进行冲击强化有助于韧性的提高,过大的激光能量反而对韧性产生不利的影响。

### 3.2 残余应力测试

分别对激光能量为3 J,6 J,9 J,12 J,光斑直径为3 mm的搭接率为50%的冲击区域进行残余应力的测试,如图3所示为激光冲击前后2Cr13的表面残余应力的分布图,由图3可见经过激光冲击处理后,获得较大的残余压应力,并且在一定的激光功率密度范围内随着激光功率密度的增大,表面的残余压应力相应增加,当超过一定的激光功率密度阈值,

表面残余压应力减小。经分析可知 2Cr13 的 HEL 为 1.76 GPa, 根据 P. Ballard 的半理论模型, 当激光能量为 12 J 时冲击 2Cr13 的峰值压力为 4.6 GPa, 超过 2.5 GPa HEL, 材料的表面的残余应力会由于表面稀疏波效应而减小。

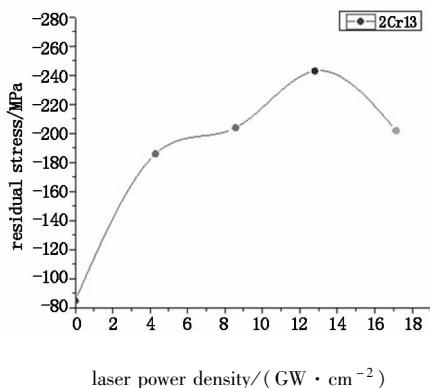
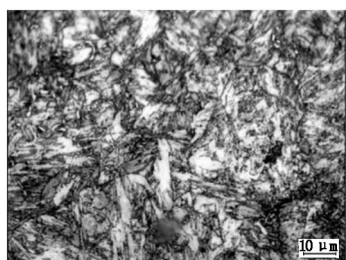


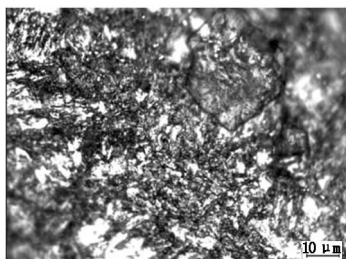
图3 不同激光功率密度的残余应力分布

### 3.3 金相组织分析

如图4所示为激光能量为6 J冲击2Cr13前后的金相组织。从图4中可见激光冲击对2Cr13不锈钢的组织是有影响的, 没有激光冲击的部位呈现板条状马氏体组织, 而激光冲击后发现有明显的组织碎裂现象。



(a) 未冲击试样



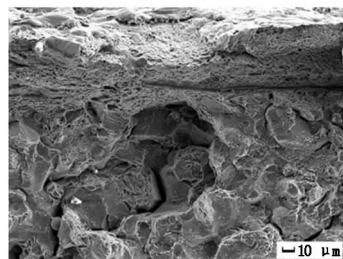
(b) 冲击后试样

图4 未冲击试样和冲击后的金相示意图

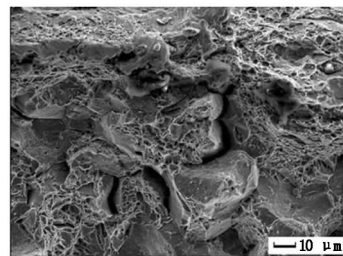
### 3.4 断口分析

由图5所示的断口可发现该材料在外加载荷的拉应力作用下其断口没有明显的塑性变形现象, 说明发生了脆性断裂。图5中的微观破坏方式均为沿晶断裂, 断裂路径是沿晶界发生的, 断面晶粒明显, 断口中还分布一些夹杂物。图5(a)中未冲击试样

的断口以脆性沿晶断裂为主, 晶间的结合力较弱, 还有部分夹杂物, 说明了材料的韧性较差。图5(b)显示激光冲击试样后, 有部分浅韧窝, 这是瞬断的结果, 激光冲击的引入也增加了韧窝的产生。在外力的作用下, 使裂纹的扩展路径更加曲折, 这就需要消耗更多的能量, 从而提高了裂纹的萌生功。随着激光功率密度的提高, 冲击韧性先上升后略有下降, 激光冲击后能够提高韧性, 是由于激光冲击后改变了表面应力状态, 引入了残余压应力, 延迟了裂纹的萌生, 外加载荷产生拉应力, 由于残余压应力的存在必须要消耗更多的能量冲断材料, 从而提高了韧性。激光功率密度过大, 产生的残余应力减小, 抑制裂纹萌生的能力相对减弱, 从而使材料变脆。这与冲击韧性的数值相吻合。



(a) 未冲击试样



(b) 冲击后试样

图5 未冲击和冲击后 SEM of 2Cr13

## 4 结论

激光冲击强化马氏体不锈钢 2Cr13 后, 表面获得了较高的残余压应力, 并且在一定的激光功率密度范围内随着激光功率密度的增大, 表面的残余压应力相应增加, 当超过一定的激光功率密度阈值, 表面残余压应力减小。观察冲击试样前后试样的马氏体组织, 冲击后的试样晶粒产生碎裂的现象。通过常温的冲击韧性试验可知, 在不同激光能量对 2Cr13 进行冲击后发现采用激光功率密度有个阈值, 激光功率密度过大, 冲击韧性反而下降, 从冲击断口发现材料发生了沿晶断裂, 激光冲击增加了韧窝的产生, 需要更多的冲击功, 从而提高了冲击韧性。

## 参考文献:

- [1] Xi'an Jiaotong University Group of Low-temperature Materials. Low-temperature materials [M]. Beijing: Mechanic industry Press, 1988, 6. (in Chinese)  
西安交通大学低温材料编写组. 低温材料 [M]. 北京市: 机械工业出版社, 1988, 6.
- [2] Zhang Y K, Zhang X R, Zhang S Y, et al. Investigation of the effect of laser treatment on the longitudinal and transverse velocity of an aluminum alloy [J]. Journal of Applied Physics, 2002, 91(9): 5775 - 5781
- [3] Zhang Y K, Zhou J Z, Yang C J, et al. Study on technology of flexible forming of sheet induced corrosion cracking [M]. New York: Laser Science and Technology, 2003, 487.
- [4] Lloyd A H, Chen H L. Laser peening a processing tool to strengthen metals or alloys to improve fatigue lifetime and retard stress induced corrosion cracking [M]. New York: Laser Science and Technology, 2003, 487.
- [5] Ren X D, Zhang Y K. Comparison of two kinds of laser shock processing for aerospace aluminium alloy [J]. Metal Heat Treatment, 2004, 29(11): 37 - 39. (in Chinese)  
任旭东, 张永康. 航空铝合金材料的两种表面激光冲击加工技术的比较 [J]. 金属热处理, 2004, 29(11): 37 - 39.
- [6] Gu Y Y, Zhang L F, Lu J Z, et al. Micro-plastic deformation of  $ZrO_2$  in high strain rate by laser shocking [J]. Chinese Journal of Laser, 2009, 36(12): 3319 - 3322. (in Chinese)  
顾永玉, 张凌峰, 鲁金忠, 等.  $ZrO_2$  陶瓷激光冲击预处理研究 [J]. 中国激光, 2009, 36(12): 3319 - 3322.
- [7] GB/T229 - 2007. Standard test method for Charpy pendulum impact of metallic materials [S]. Standards Press of China, 2007: 1 - 16. (in Chinese)  
GB/T229 - 2007. 金属材料夏比摆锤冲击试验方法 [S]. 中国标准出版社, 2007: 1 - 16.