

文章编号: 1001-3806(2006)05-0511-03

激光冲击强化黄铜的实验研究

王 飞, 姚振强*

(上海交通大学 机械工程学院, 上海 200030)

摘要: 为了研究激光冲击强化对黄铜材料性能的影响, 利用 Nd:YAG 激光器对试样进行冲击强化处理, 对其表面硬度、表面形貌、粗糙度和残余应力进行了实验测试和分析对比。实验结果表明, 黄铜表面的显微硬度可提高 25% 左右; 材料表面产生的最大残余压应力可高达 $-200\text{MPa} \sim -250\text{MPa}$, 冲击区域表面质量良好; 微观组织未发生明显变化。

关键词: 激光器; 黄铜; 硬度; 粗糙度; 微观组织; 残余压应力

中图分类号: TG156.99; TN249 **文献标识码:** A

Experimental research of laser shock processing brass

WANG fei, YAO Zhen-qiang

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract In order to study the effect on the properties of laser peened brass, a brass sample is processed with Nd:YAG lasers and its hardness, residual stress, roughness and texture are examined and analyzed. The experimental results show that its hardness can be improved up to 25% and the compressive residual stress can reach $-200\text{MPa} \sim -250\text{MPa}$. On the other hand, compared with the unshocked area, the surface smoothness and the microstructure have no remarkable change.

Key words lasers; brass; hardness; roughness; microstructure; compressive residual stress

引 言

激光冲击强化是一种新型的材料表层强化技术, 它利用高功率 ($10^9\text{W}/\text{cm}^2$ 级)、短脉冲 (纳秒量级) 的激光辐射金属材料表面, 使金属表面的涂层汽化后形成高温高压的等离子体, 等离子体急剧膨胀爆炸产生冲击波冲击材料表面使其发生塑性变形, 在表面形成残余压应力, 提高材料硬度和疲劳强度等性能^[1~3]。与传统的表面强化工艺相比, 激光冲击强化具有无需模具、易于控制、无污染、柔性好等优点^[4]。典型的激光冲击模型在金属表面上覆盖一层约束层, 其目的是提高冲击波峰压并延长冲击作用时间^[5]。国内近年来开展了一些相关研究, 但在激光冲击对材料性能方面的影响的实验研究还远远不足, 而且实验主要集中在硬度和残余应力等方面, 而少见对表面质量和金相结构影响的研究^[6~8]。为了研究激光冲击对材料的表面特性及力学性能的影响, 以黄铜为研究对象, 经冲击处理后, 研究激光冲击对黄铜显微硬度、表面形貌、粗

糙度、金相结构、表面残余应力等方面的影响。

1 实验过程

1.1 实验材料

实验材料采用 H62 黄铜, 其主要性能参数: 密度为 $8.43\text{g}/\text{cm}^3$, 屈服强度为 144MPa , 抗拉强度为 495MPa , 试样尺寸为 $70\text{mm} \times 30\text{mm} \times 1\text{mm}$, 化学成分见表 1。

Table 1 Chemical composition

component	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn
mass fraction	0.59~0.62	0.001 (max)	0.004~0.01	0.005~0.01	0.38

1.2 冲击装置及试验参数

实验中采用的激光器是纳秒高功率 Nd:YAG 激光器, 激光波长为 1064nm , 单脉冲能量约为 35J , 脉冲宽度为 30ns , 光束直径为 8mm 。冲击进行前, 在黄铜表面涂上一层专用黑色激光涂料, 涂层可以起到 3 个作用: (1) 一般金属对激光的吸收率低, 专业的激光涂层可以减少激光反射, 增强吸收; (2) 可以保护金属表面不被烧蚀保护; (3) 涂层还作为牺牲层产生等离子体冲击金属表面已形成塑性变形^[9]。实验中采用 K9 玻璃作为约束层以增加冲击压力和延长冲击作用时间。实验装置示意图如图 1 所示。

基金项目: 上海市科委重大科技攻关基金资助项目 (04DZ11002); 上海市光科技重大专项基金资助项目 (05DZ22003)

作者简介: 王 飞 (1976), 男, 博士研究生, 主要研究方向为激光表面处理。

* 通讯联系人。E-mail: zqya@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2005-08-29; 收到修改稿日期: 2005-09-21

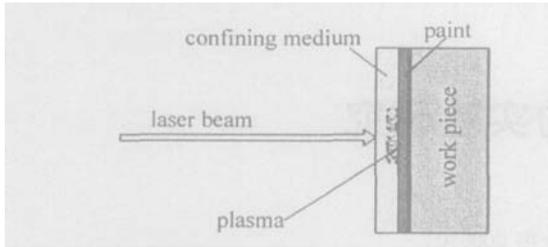


Fig 1 Schematic diagram of laser shock processing

2 实验结果

黄铜经激光冲击后,分别对试样表面硬度,试样厚度方向的硬度,试样的表面形貌和粗糙度,金相结构以及残余应力分布等进行了测试,得到了如下的研究成果。

2.1 显微硬度

试样冲击处理后,采用 HX-1000小载荷维式硬度计进行显微硬度的测量。测量的方法是沿着不同的直径方向检测,然后以冲击区域的中心为圆心取同心圆上各点的硬度平均数值。冲击后,材料表面硬度提高了 25% 左右,最大显微硬度从 99HV_{0.2} 提高到 125HV_{0.2},表面硬度分布如图 2 所示。将试样从直径方向用线切割切开,经机械抛光后,在冲击区域中心位置测量材料厚度方向上显微硬度变化如图 3 所示。

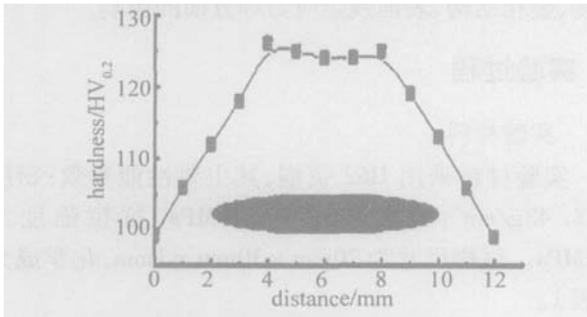


Fig 2 Surface hardness distribution

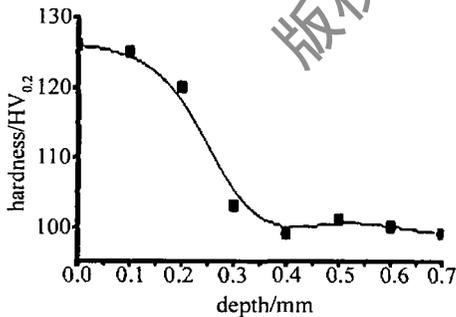


Fig 3 In-depth hardness distribution

2.2 表面形貌

在激光冲击中,如果选用的激光涂层不合适,或者激光脉冲宽度过长,就有可能导致激光直接烧蚀金属材料表面^[10]。所以,保护金属材料表面质量是激光冲击强化中重要的一个环节。用无水酒精擦拭干净试验件表面的黑色涂层,冲击后的试样如图 4a 所示。在光学显微镜下观察两区域的分界上可以看到一挑圆弧形状的纹路,左边的非冲击区域和右边的冲击区域没有明

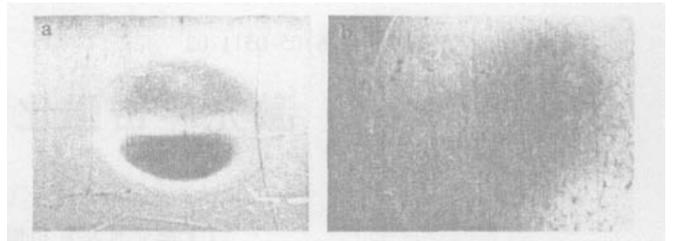


Fig 4 a—shape of shocked area b—photograph under optical microscope

显的不同,冲击表面未发现烧蚀等破坏,如图 4b 所示。在扫描电子显微镜放大倍数为 4000 倍的条件下,可以观察到,冲击区域的表面纹路清晰,不仅没有被烧蚀,而且因为表面的瞬时的高压使得纹路变得更低,也就是材料表面变得更加光滑,图 5a 和图 5b 分别是冲击区域和未冲击区域的在放大倍数为 4000 倍的表面形貌。

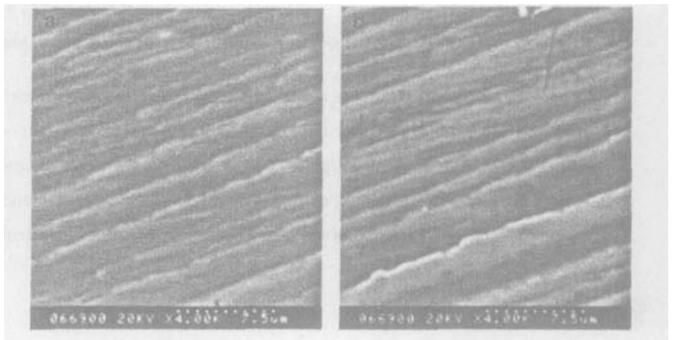


Fig 5 a—SEM micrograph of shocked area b—SEM micrograph of unshocked area

2.3 表面粗糙度

表面粗糙度的测量采用上海市华东计量中心的 TalySurf6 轮廓仪,冲击后,虽然从粗糙度 R_a 的数字上看,冲击区域在数值上从 0.1653 μm 升高到 0.2468 μm ,表面粗糙度增加。但是,从图 6(冲击区域)和图 7(未冲击区域)上可以明显看出来,冲击区域的波纹线并没有放大,甚至变得更小。粗糙度的数值

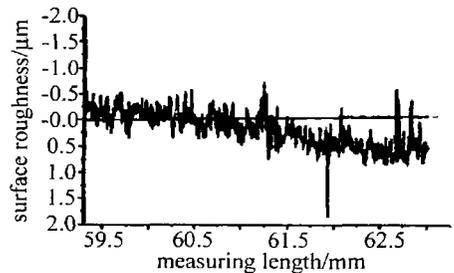


Fig 6 Surface roughness of shocked area

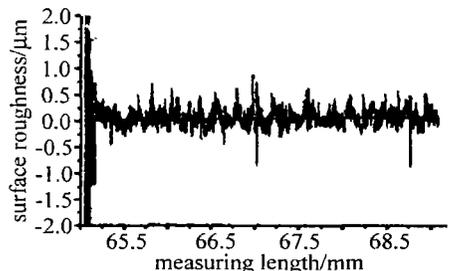


Fig 7 Surface roughness of unshocked area

上升主要是因为表面形状的变化、滤波不全所造成的。冲击区域采用的基圆弧 39.3895mm , 而冲击后表面的形貌并非标准的圆弧, 这样的非圆弧形状在测量中被计入表面粗糙度。所以, 由于试验条件的限制, 这样的不规则曲面影响了实际粗糙度的测量, 冲击区域的实际微观表面质量好于实际测量值。因此, 只要激光冲击参数的合理, 选择合适的约束层和表面涂层, 激光冲击强化不仅不会烧蚀材料表面, 还可以保持甚至提高材料表面微观光洁度。

2.4 金相结构的变化

冲击后, 冲击表面的晶粒可能因为冲击产生的塑性变形而出现微观晶粒的形状变化, 图 8a 是冲击区域表面金相图, 图 8b 是同一试样上未冲击区域的金相图, 从金相图未能观察到明显的金相变化, 晶粒的拉伸并不显著, 也没有出现晶粒细化现象。表面金相的同时还从另外一个方面说明的冲击区域的表面质量保护较好。

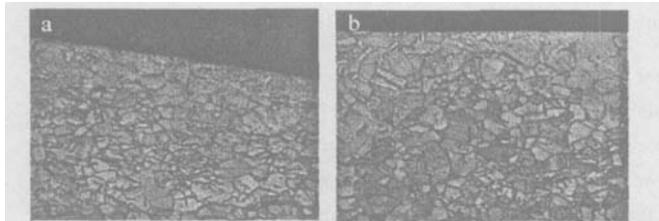


Fig 8 a—microstructure of shocked area b—microstructure of unshocked area

2.5 残余应力

材料经激光冲击处理后, 在冲击区域形成残余压应力, 在疲劳载荷中可以等效平均应力, 从而提高材料

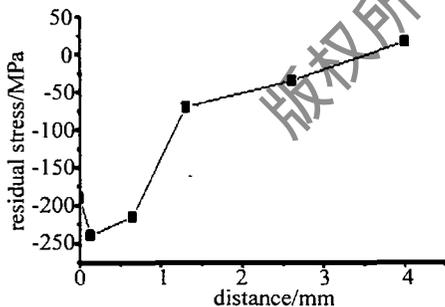


Fig 9 Surface residual stress distribution

的抗疲劳或者抗腐蚀等性能。残余应力的测试采用斑径向的分布如图 9 所示。从测量结果可以看出, 黄铜经过激光冲击后, 冲击区域产生了较高的残余压应力, 冲击中心区域残余应力高达 $-200\text{MPa} \sim -250\text{MPa}$ 。

3 结 论

(1) 对黄铜进行激光冲击强化, 既可以提高其表面的硬度, 又可以在表面形成较高的残余应力。(2) 选择合适的激光涂层和约束层进行激光冲击处理, 可以保持试件表面质量不发生明显变化, 这样既达到冲击强化的目的, 又能保护材料表面不被激光烧蚀。

参 考 文 献

- [1] PEYRE P, FABBRO R, BERTHE L. Laser shock processing of materials: physical process involved and examples of applications [J]. *Journal of Laser Applications*, 1996, 8(2): 135~141.
- [2] YU Z L, GAO Ch Y, ZENG D Y *et al*. Study of the surface qualities of laser shock processing zones using an artificial neural network [J]. *Laser Technology*, 2004, 25(1): 1~6 (in Chinese).
- [3] PEYRE P, FABBRO R. Laser shock processing: a review of the physics and applications [J]. *Opt & Quant Electron*, 1995, 27(12): 1213~1229.
- [4] HUA T Q, CHEN R F, YANG J Ch *et al*. Study on the theoretical thickness of the free limiting layer and experiments in laser shock processing [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(2): 150~152 (in Chinese).
- [5] NAGHEDOLFEZIM, KE G E. X-ray fluorescence microtomography study of trace elements in a SiC nuclear fuel shell [J]. *Journal of Nuclear Materials*, 2003, 31(2): 146~155.
- [6] REN N F, YANG J Ch, CAN L *et al*. Effects of laser shocking on the mechanical properties of metals [J]. *Laser Technology*, 1998, 22(4): 235~238 (in Chinese).
- [7] ZOU H Ch, DAISHI XUM Y *et al*. Study on improvement of properties of aluminum alloy by laser shock processing [J]. *Laser Technology*, 1995, 19(6): 321~323 (in Chinese).
- [8] ZHOU J Zh, ZHANG Y K, ZHOU M *et al*. Study on technique of laser shock forming of metal sheet [J]. *Laser Technology*, 2002, 26(6): 478~480 (in Chinese).
- [9] BERTHE L, FABBRO R, PEYRE P *et al*. Shock waves from a water confined laser generated plasma [J]. *J A P*, 1997, 82(6): 2826~2832.
- [10] ZHANG W W, YAO Y L. Microscale laser shock processing of metallic components [J]. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2002, 124(5): 369~378.