

文章编号: 1001-3806(2009)05-0500-03

模具表面球冠状微凸体形貌的激光加工

米涛, 李成冬, 倪健, 符永宏*, 华希俊
(江苏大学机械工程学院, 镇江 212013)

摘要: 为了减少磨损, 延长模具的使用寿命, 在模具表面应用激光毛化处理。采用 200W 灯抽运 Nd:YAG 激光器, 进行系统的激光毛化工艺试验, 得出脉冲激光参量对模具表面微观形貌主要几何参量的影响规律, 最终获得了预期的几何形貌。并分别测量和分析了毛化模具表面硬度和金相组织状况。结果表明, 微凸体表面硬度比基体材料的表面硬度提高了 30% ~ 40%, 提高了模具表面的耐磨性。

关键词: 激光技术; 激光毛化; 表面形貌; 工艺试验; 模具

中图分类号: TG176 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2009.05.015

Laser texturing of spherical cap slight protuberance profile on mould & die surface

MI Tao, LI Cheng-dong, NI Jian, FU Yong-hong, HUA Xi-jun

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

Abstract: With the aim of reducing wear and prolonging working life of a mould & die, laser texturing technology was applied to the surface of the mould & die. In the experiment, a 200W lamp pumped Nd:YAG laser was adopted to process the mould & die surface. Then the rule of the effect of laser parameters on the micro profile of the mould & die was obtained after experiments. Finally, the expected profile was obtained. The surface hardness and metallographic structure were measured and analyzed. The results showed that the surface hardness of slight protuberance was improved 30% ~ 40% compared with that of the substrate and the wear resistance of mould & die was improved too.

Key words: laser technique; laser texturing; surface roughness profile; process experiment; mould & die

引言

在进行金属塑性成形时, 由于模具与工件在高压下发生弹塑性接触摩擦, 还常处于高温、交变载荷等恶劣的工况下, 模具的主要失效形式是磨损。因此, 减少磨损、提高模具的使用寿命是塑性加工领域急需解决的问题。

激光毛化是在已加工表面上经激光扫描改变表面形貌, 提高工件表面的润滑效果、抗磨损能力及使用寿命。根据中国专利 CN101143377 可知, 将激光毛化技术应用于金属塑性成形模具的表面处理中, 对模具表面进行改形和改性处理, 不仅能提高模具表面的耐磨抗磨、润滑减磨性能, 延长模具的使用寿命, 优化成形工艺, 并且还能提高成形工件的表面质量和性能。

激光毛化技术已在轧辊表面的毛化处理中得到广

泛应用。许多国内外学者对激光毛化工艺做了大量实验研究。比如, JIANG 等人^[1]研究了激光功率、激光脉宽、脉冲峰值功率以及组频等对轧辊表面毛化坑 3 维形貌形成的影响, 并设计了激光毛化表面测量和质量控制系统; DU 等人^[2-5]采用 Nd:YAG 激光器, 通过控制脉冲激光的波形、脉冲宽度、脉冲频率、脉冲能量、离焦量等工艺参量, 得到了一种比较特殊的毛化形貌——球冠状微凸结构; XUE 等人^[6-7]通过控制脉冲峰值功率、脉冲频率、脉冲宽度的参量, 得到 W 型毛化形貌。POTERASU 等人^[8]通过实验建立了不同脉宽、单脉冲能量、激光功率密度与毛化坑深度、直径之间的关系。

但是, 针对不同激光器的毛化加工工艺并没有得到充分研究。尽管激光毛化技术在轧辊上已得到实际应用, 但其毛化形貌的几何尺寸无需精确控制, 而适用于精加工模具表面的毛化形貌尺寸却需要严格的要求。

作者采用灯抽运 Nd:YAG 激光器在试样表面进行毛化处理, 通过对激光加工工艺过程及其相互关联工艺参量的研究和分析, 获得了球冠状微凸体形貌。并对脉冲激光参量对毛化形貌主要几何参量的影响规律, 进行了初步的分析和研究, 最后还对该形貌表面金

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475122)

作者简介: 米涛(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事特种模具的研究。

* 通讯联系人。E-mail: fyh@ujs.edu.cn

收稿日期: 2008-07-07; 收到修改稿日期: 2008-08-19

相组织和硬度状况进行了测量。

1 试验方法及设备

试样材料为45#钢,外形为圆柱形,直径40mm,厚度10mm。整体淬火后,表面硬度达到330HV~380HV,经研磨后表面粗糙度 $R_a = 0.1\mu\text{m}$ 。采用最大平均功率为200W的灯抽运Nd:YAG激光器。试验中对抽运电压、脉宽、离焦量、气压几个参量采用单因素轮换法进行试验研究。具体的试验参量设置如下:脉宽(ms):0.5,1,1.2,1.4,1.6,1.8,2,4,6,8,10;离焦量(mm):3,4,5,6,7,8;气压(MPa):0,1,1.1,1.4;电压(V):450,460,480,490;选用多模激光束;辅助气体为氮气或氧气,通过喷嘴垂直或侧吹送气。

2 试验结果与分析

在上述某组加工参量下对试样进行毛化处理,为进一步获得毛化的3维微观形貌和尺寸,在WKY-NT1100表面微观几何形貌3维测量仪上,对其进行测定和分析,得到如图1所示的微观3维形貌。

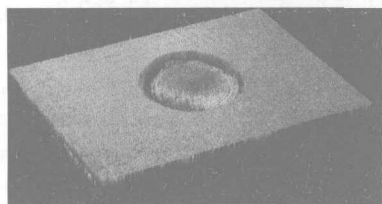


Fig. 1 Sample surface 3-D profile after laser texturing

2.1 激光脉冲宽度对毛化形貌的影响

图2为毛化点凸肩高度以及凹坑直径随激光脉冲宽度变化的关系图。由图可见,脉宽在1.0ms~2.0ms

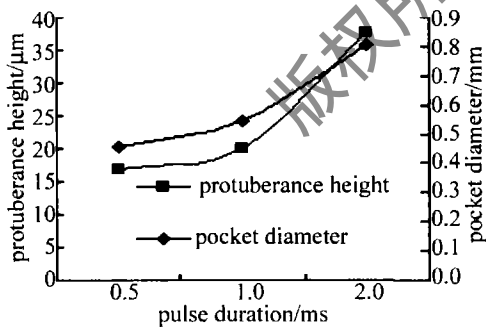


Fig. 2 Effect of laser pulse duration on laser texturing profile

范围内比在0.5ms~1.0ms内对凹坑直径以及凸肩高度影响大。这说明在激光快速毛化过程中,脉宽较小时,虽峰值功率较大,但作用时间短,较多的能量用来汽化金属;随着脉宽增加,峰值功率相对较小,作用时间相对较长,用来汽化的能量越来越少,以致几乎全部用来熔化熔池金属,熔池的大小和凸肩高度均增大。

2.2 气体压力对毛化形貌的影响

图3为毛化形貌凸肩高度以及凹坑直径随气压变

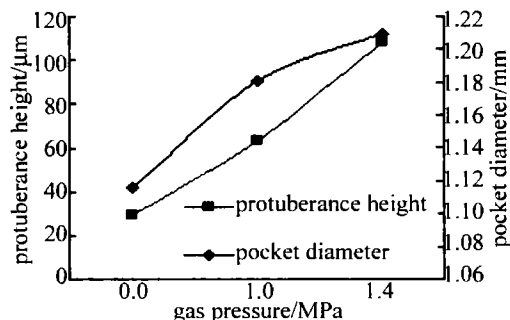


Fig. 3 Effect of aided gas pressure on laser texturing profile

化的测量结果。可见,气压在0MPa~1.4MPa范围内变化时,凸肩高度和凹坑直径都随着气体压力增加而增加,尤其是凹坑直径变化更大。激光快速毛化作用过程中,按照一定的压力、流速、入射角控制给气,可以对熔池形成一定程度的微小扰动,以利于凸肩尖端的生长,使材料表面形成微凸。当辅助气体压力增大时,从金属熔池侧吹到熔化区域中间位置的体积逐渐增大,因此,凸肩高度和凹坑直径均增大。

2.3 抽运电压对毛化形貌的影响

图4为毛化形貌凸肩高度以及凹坑直径随抽运电压变化的测量结果。随着抽运电压的增加,凸肩高度

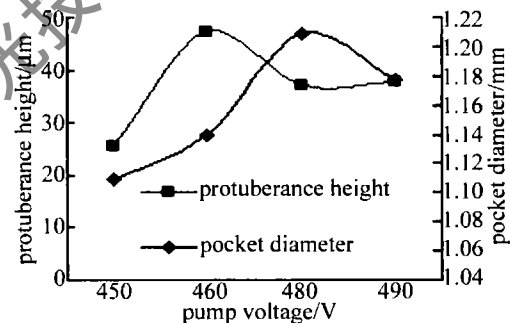


Fig. 4 Effect of pump voltage on laser texturing profile

和凹坑直径都存在一个折点,其主要原因是,此毛化形貌的形成与熔化金属的体积多少密切相关。在较低抽运电压时,熔化金属相对较少,因此,凸肩高度和凹坑直径均较小。在抽运电压太高时,熔池中的部分金属会在高能量密度下汽化,而且这层气体会在继续吸收激光能量后,形成等离子体屏蔽,阻碍金属材料表面对激光能量的进一步吸收,所以抽运电压太大,不但不会增加熔化金属的体积,反而由于上述原因而减少。因此,抽运电压过高时,毛化形貌的几何尺寸反而变小。

2.4 表面毛化点组织和表面硬度测量分析

2.4.1 表面毛化点组织分析 图5为金相显微镜观察所得照片,毛化加工参量为:脉宽1.4ms,离焦量5mm,气压1.4MPa,电压480V。

从图中可以看出,基材金相组织为淬火马氏体和托氏体的混合物,毛化点微坑和凸肩处的金相组织为针状和板条状混合马氏体。

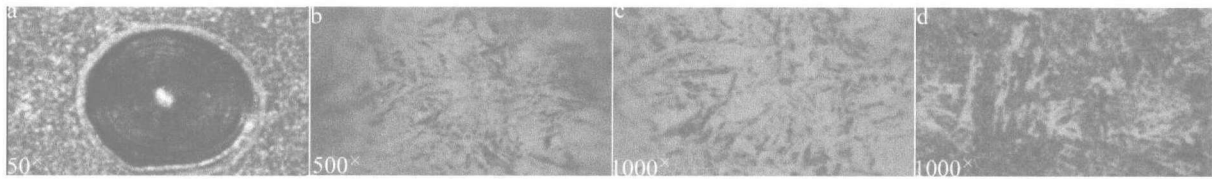


Fig. 5 a, b, c—microstructure and metallographic structure of laser texturing spot d—metallographic structure of substrate surface

2.4.2 表面硬度测量分析 首先在试样基体表面进行硬度测量, 然后对微凸体表面进行硬度测量。测量过程中, 对各不同的表面分别取 3 个点测出 3 个硬度值, 然后取其平均值。测量结果见表 1。

Table 1 The hardness of slight protuberance and the matrix

laser texturing spot	surface hardness of protuberance/HV			
	first spot	second spot	third spot	average
a	463.6	366.3	541.3	457.07
b	566	482.7	559.8	536.17
c	487.7	487.7	612.5	529.3
d	463.3	541.8	547.7	517.6
e	463.6	428.6	513.7	468.63

结果表明: 在模具试样表面激光毛化形成的微凸体表面硬度比基体的表面硬度提高了 30% ~ 40%。

总之, 通过对毛化点和基体材料表面金相组织和硬度的分析可知, 经激光毛化处理后, 可显著提高模具表面的硬度, 有利于提高模具表面的耐磨损性能, 延长模具的使用寿命。

3 结论

通过激光毛化参量控制试验, 成功获得了预期的毛

化形貌。毛化形貌表面硬度高于基体材料表面硬度, 有利于提高模具表面的耐磨损性能, 延长模具的寿命。

参考文献

- [1] JIANG J F, HE Y H, YAN Y G, *et al.* Research on laser texturing process and surface quality control [J]. Proc SPIE, 2000, 4088: 240-243.
- [2] DU D, HE Y F, SUI B, *et al.* Laser texturing of rollers by pulsed Nd:YAG laser [J]. Materials Processing Technology, 2004, 161(3): 456-461.
- [3] HE Y F, DU D, LIU Y, *et al.* Parametric analysis of pulsed Nd:YAG laser texturing process [J]. Laser Technology, 2003, 27(1): 8-10 (in Chinese).
- [4] HE Y F, DU D, SUI B, *et al.* Laser texturing of spherical cap slight protuberance profile on roll surface [J]. Applied Laser, 2002, 22(3): 327-330 (in Chinese).
- [5] LIU Y, CHEN D R, YANG W Y. Experimental investigation of laser-textured on roller with micro-convex topography [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(7): 107-110 (in Chinese).
- [6] ZHU M Zh. Technology and experimental study on roll surface texturing with pulse RF CO₂ laser [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2006: 41-47 (in Chinese).
- [7] XUE Y, CHEN P F, ZHU M Zh. Experimental research on RF used in roller texturing [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2007, 5(4): 16-19 (in Chinese).
- [8] POTERASU M, DASCALU T, MARIAN A, *et al.* Nd:YAG laser surface texturing [J]. Proc SPIE, 1999, 3045: 233-240.

(上接第 499 页)

- [11] YUAN Y Y, GONG M L. Analysis and design of refractive-index and dopant distributions for large-mode-area fibers [J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35(9): 1355-1359 (in Chinese).
- [12] GONG M L, YUAN Y Y, LI Ch, *et al.* Numerical modeling of transverse mode competition in strongly pumped multimode fiber lasers and amplifiers [J]. Optics Express, 2007, 15(6): 3236-3246.
- [13] FERMAN M E. Single-mode excitation of multimode fibers with ultrashort pulses [J]. Opt Lett, 1998, 23(1): 52-54.
- [14] ALVAREZ-CHAVEZ J A, GRUDININ A B, NILSSON J, *et al.* Mode selection in high power cladding pumped fiber lasers with tapered section [C]//Proceedings of the Lasers and Electro-Optics, 1999. Baltimore: CLEO99 Conference Publication, 1999: 247-248.
- [15] LI L B, LOU Q H, ZHOU J, *et al.* Mode selection of a tapered large-

mode-area fiber laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(12): 1625-1628 (in Chinese).

- [16] PARK H, FANG A W, KODAMA S, *et al.* Hybrid silicon evanescent laser fabricated with a silicon waveguide and III-V offset quantum wells [J]. Optics Express, 2005, 13(23): 9460-9464.
- [17] ZHAO Ch J, QIAN L J, YUAN P, *et al.* Fiber amplifier based on evanescent-coupled gain [J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35(6): 848 (in Chinese).
- [18] TONG L M, LOU J Y, MAZUR E, *et al.* Single-mode guiding properties of subwavelength-diameter silica and silicon wire waveguides [J]. Optics Express, 2004, 12(6): 1025-1035.
- [19] BONCEK R K, RODE D L. Far-field radiation and modal dispersion of 1310nm dispersion-optimized fiber at 850nm [J]. Journal of Lightwave Technology, 1991, 9(1): 18-21.