

激光雕刻非金属固体材料的表面形貌

崔承云, 崔熙贵, 石贵峰

(江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 采用 CO₂ 激光对木板、大理石、有机玻璃三种典型的非金属材料进行雕刻, 研究激光工艺参数对其雕刻表面形貌的影响, 优化非金属材料的激光雕刻工艺参数。结果表明: 随着激光功率的增加, 刻痕深度逐渐增加; 对于低熔点的木板和有机玻璃, 较低的激光雕刻功率利于获得边缘齐整、美观的刻痕, 功率过大会使木板出现发黑甚至过烧现象, 而有机玻璃出现熔凝形成的波纹与凹凸不平现象; 对于高熔点且硬脆的大理石, 较高的激光功率使刻痕清晰, 边缘齐整锐利, 且无熔渣形成, 但雕刻速度过低时, 雕刻边缘粗糙不平整。

关键词: 激光雕刻; 非金属材料; 表面形貌; 雕刻效果

中图分类号: TN249 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)12-3932-05

Surface morphology of non-metallic solid materials after laser carving

Cui Chengyun, Cui Xigui, Shi Guifeng

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

Abstract: Three typical non-metallic materials of the wood, marble and synthetic glass were carved by CO₂ laser. The effects of laser parameters on the carving surface morphology were researched, optimizing the laser carving process parameters of non-metallic materials. The results show that the carved depth is gradually increased with the increase of laser power; for the wood and synthetic glass with low melting point, the lower laser power is beneficial to obtain the notch of the neat and beautiful edge, but too large laser power can make the wood appear black or even overburning phenomenon, and make the synthetic glass appear corrugated and uneven phenomenon; for the brittle marble with high melting point, the higher laser power results in the clear notch, the neat sharp edge and no slag formation, however, when the carving speed is too low, the carved edge is rough and not neat.

Key words: laser carving; non-metallic material; surface morphology; carving effect

收稿日期: 2014-04-05; 修订日期: 2014-05-15

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2011523); 教育部博士点新教师基金(20103227120012, 20123227120023)

作者简介: 崔承云(1981-), 女, 副教授, 博士, 主要从事激光材料加工与表面工程方面的研究。Email: ccyyy981206@163.com

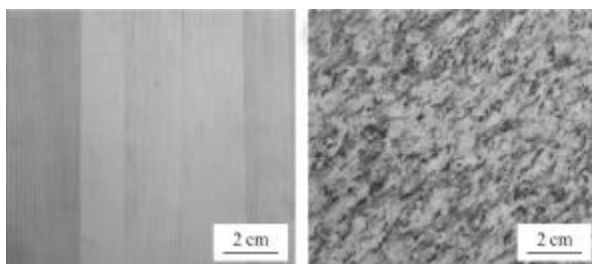
0 引言

随着激光加工技术应用的深入,关于激光加工的研究日益增多^[1-4]。其中,激光雕刻具有适应范围广、操作简单、速度快、质量好,热影响区小,加工柔性大等优点,是传统机械雕刻工艺无法比拟的。因此,其非常适用于各种材料,如轻金属、有机玻璃、橡胶、防火板、PVC板、木材等的表面雕刻,其能够雕刻出任意形状的图形,而且雕刻精细,图形清晰^[5-6]。高品质的雕刻质量需要建立在合理的工艺参数的选择上,但是,目前关于激光工艺参数对非金属材料雕刻质量与效果影响的研究还较少。

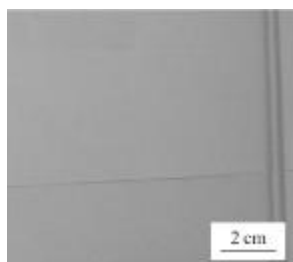
基于提高非金属材料雕刻质量和改善其雕刻效果的目的,文中以木板、大理石、有机玻璃三种典型非金属材料作为研究对象,采用 CO₂ 激光进行表面雕刻,研究激光雕刻工艺参数对其表面形貌的影响规律与机制,优化工艺参数,获得高品质的雕刻质量和雕刻效果。

1 试验材料与工艺参数

试验选用木板、大理石和有机玻璃三种典型非金属材料作为激光雕刻对象,雕刻前其表面分别用酒精清洗干净,表面形貌如图 1 所示。



(a) 木板
(a) Wood plate
(b) 大理石
(b) Marble



(c) 有机玻璃
(c) Synthetic glass

图 1 激光雕刻材料

Fig.1 Materials for laser carving

采用 CO₂ 激光雕刻机在上述材料表面雕刻“机”字,工艺参数如表 1 所示。利用佳能相机微聚焦的方法拍摄激光雕刻后的表面形貌,观察材料的雕刻质量和效果。

表 1 激光雕刻工艺参数

Tab.1 Process parameters for laser carving

Materials	Thickness /mm	Power/W	Speed /m·min ⁻¹	Defocus/mm
Wood plate	20	30	5	+8
		40	10	
		50	15	
		100	10	
Marble	14	30	5	+6
		100	5	
		100	1	
Synthetic glass	3	30	5	+8
		50	5	
		70	5	

2 试验结果及讨论

2.1 木板的激光雕刻

2.1.1 表面形貌

图 2 给出了不同激光雕刻参数下木板的表面形貌。可以看出,三种工艺参数下雕刻的“机”字表面都有一层黑色的材料层,这是木材雕刻后留下的碳化层,其是由木材雕刻过程中产生的热劣化引起的。热劣化的部位实际上是通常所说的热影响层,根据裂化程度的不同,其可以分为末期热影响层(即碳化层)、中期热影响层和初期热影响层^[6]。由于后两者对表面质量影响不大,故主要研究碳化层部分。

在激光雕刻过程中,形成的碳化层越薄越好,最好是保留木材基体本身的颜色。与图 2(b)和(c)相比,图 2(a)雕刻效果相对较好,因为无论是水平方向还是竖直方向,图 2(a)中木材碳化都较轻,尤其在水平方向能清楚的看到木材的本色-浅黄色。图 2(b)和(c)中的竖直方向碳化相对严重,有烧焦的痕迹;在水平方向也能看到轻微的碳化,呈现深茶色,如图 2(c)中白色箭头所示。此外,图 2(a)中的热影响区比图 2(b)

和(c)要小,即图中“机”字周围的浅色区域(如图中虚线方框所示)要小。

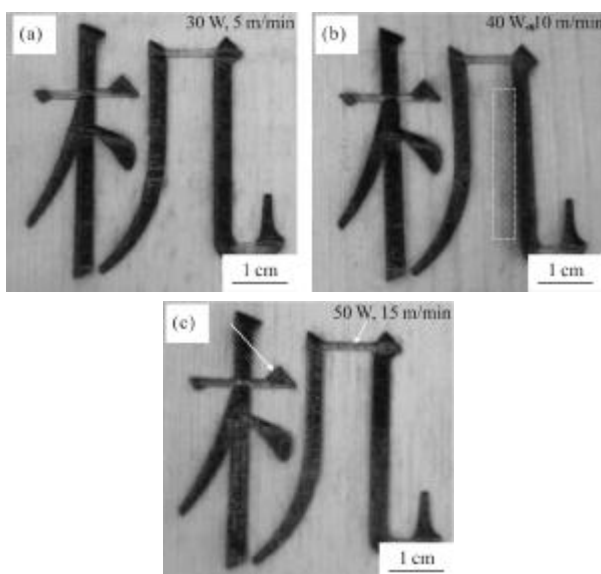


图 2 不同激光雕刻参数下木板表面形貌

Fig.2 Surface morphology on the wood under different laser carving parameters

从理论上讲,激光雕刻木材的机制为光致气化或燃烧,即激光光能被材料吸收转变成热能,热足够大时,木材瞬间气化,热能较小时,木材燃烧。瞬间气化去除材料速度快,表面无碳化层,是期望获得的一种理想机制;燃烧则去除材料速度慢,且有明显碳化现象。木材的激光雕刻以哪种机制完成,取决于激光功率密度与雕刻速度。由于激光能量空间的不均匀性,雕刻过程中通常同时存在气化与燃烧两种机制。这也是图 2 所示表面形貌中存在碳化层的主要原因。所以,激光雕刻木材要尽可能做到按气化机制进行。

2.1.2 表面过烧

当激光雕刻功率继续增加为 100 W 时,“机”字没有雕刻完,木材表面已经出现了严重的碳化,即过烧,如图 3 所示,这与相同雕刻速度的图 2(b)形成了鲜明的对比。此外,不仅雕刻深度大大增加,而且整个字周围的热影响区也变的更宽、更明显,颜色由图 2 中的浅黄色变为黑色。这说明激光雕刻中的过烧现象主要是由能量堆积(采取功率过大或雕刻速度过慢)引起的^[7]。过烧现象严重影响了雕刻质量、完整度与美观度,因此,要选择合理的激光功率与雕刻速度,彻底避免过烧现象出现。

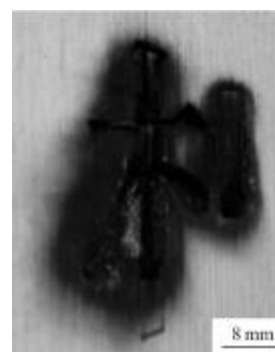


图 3 严重碳化形貌

Fig.3 Serious carbonization morphology

2.2 大理石的激光雕刻

大理石质地坚硬,属于典型的高熔点硬脆材料,其激光雕刻不同于上述的木材。不同激光工艺参数下大理石的雕刻表面形貌如图 4 所示。由图 4(a)可知,当采用 30 W 较小功率与 5 m/min 的雕刻速度进行激光雕刻时,在大理石表面只留下浅浅的“机”字外轮廓标记,雕刻深度较浅,难以辨认。当雕刻速度不变,激光功率增至 100 W 时,可以得到雕刻效果较好的字样,如图 4(b)所示。为了更好地识别与比较激光功率对大理石雕刻质量的影响,将图 4(a)与(b)中

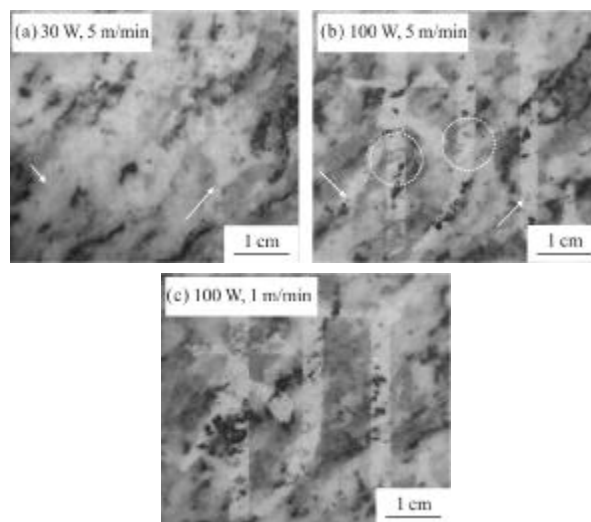


图 4 不同激光雕刻参数下大理石表面形貌

Fig.4 Surface morphology on the marble under different laser carving parameters

雕刻的“机”字的相同位置处用箭头标出。由图可知,较高的激光功率雕刻质量较好,雕刻槽的边缘比较齐整锐利,而且雕刻面的陶瓷均以微细粉末气化转移,无熔渣形成,即雕刻面没有重铸层;但是仍有局

部位置出现断点,雕刻不连续,即局部大理石表层没有去除掉,如图 4(b)中虚线圈标出的区域,这可能是由于雕刻速度较快引起的。为此,保持激光功率 100 W 不变,降低雕刻速度至 1 m/min 进行试验,得到的雕刻表面形貌如图 4(c)所示。可以看出,雕刻质量仍较好,无重铸现象,雕刻连续性好,去除率 100%,达到很好的雕刻效果;但雕刻面相对图 4(b)较粗糙,雕刻边缘不齐整锐利,这可能是由于较低的雕刻速度引起激光光斑周围产生温度梯度,从而形成较高的内应力,导致激光雕刻区开裂粉碎或剥落造成的^[9]。

由以上分析可知,对于硬脆的大理石材料,需要选择较高的激光功率,以获得较好的雕刻效果,但是为了避免雕刻的不连续性和边缘粗糙不齐,需要选择合适的雕刻速度。

2.3 有机玻璃的激光雕刻

有机玻璃-聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)是一种透明的高分子材料,应用广泛,因此其表面雕刻也是一个非常重要的研究内容。有机玻璃的激光雕刻是利用高功率密度的激光快速破坏聚合物材料的聚合键来实现的。

图 5 给出了不同激光功率下激光雕刻有机玻璃的表面形貌。可以看出,随着激光功率的增加,雕刻形貌发生了显著的变化。当激光功率较小为 30 W 时,雕刻槽的边缘齐整锐利,字符美观,刻痕清晰可辨,与磨砂效果相似,激光未照射区没有发生降解,整个字形达到了较好的雕刻效果,如图 5(a)所示。随着激光雕刻功率的增加,雕刻质量与效果变差,如图 5(b)和(c)所示。当激光功率增至 50 W 时,雕刻深度略有增加(见图 5(b)),但字形边缘不齐整,尤其在“木”字旁的垂直方向;而且有些地方出现字符线条不均匀不连续的问题,如图 5(b)中虚线所示,这种现象极大地影响了字符的美观甚至可识别性。当激光功率继续增加至 70 W 时,雕刻深度明显增加(见图 5(c)),最深处达到 2 mm,如箭头处所示。此外,“机”字的某些部位出现了波纹和凹凸不平的现象,如图 5(c)中虚线内所示。这说明有机玻璃在较高的激光功率下已发生了熔化,波纹和凹凸不平的现象是由熔化-凝固过程产生的。不管是波纹还是凹凸现象都严重影响了雕刻效果。由此可见,对于作为高分子材料的有机玻璃,要获得高质量的雕刻效果需要选择较小的

激光功率,通过破坏其聚合键来实现,应该避免发生熔化-凝固现象。

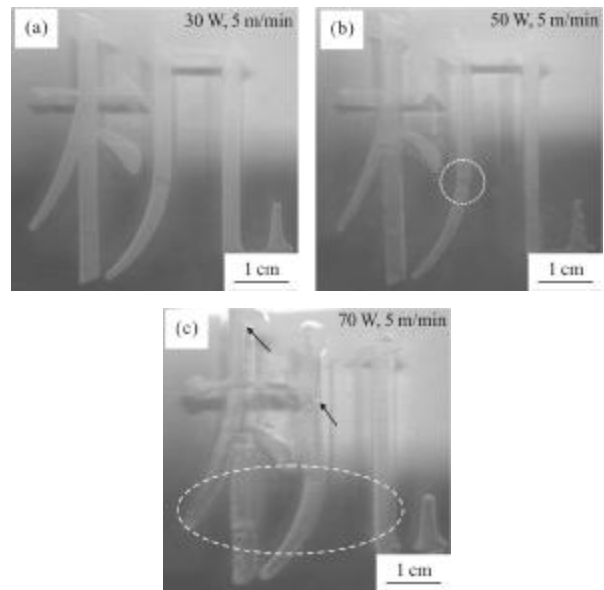


图 5 不同激光雕刻参数下有机玻璃表面形貌

Fig.5 Surface morphology on the synthetic glass under different laser carving parameters

3 结论

通过对木板、大理石、有机玻璃三种典型非金属材料雕刻试验的研究,得出以下结论:

(1) 随着激光功率的增加,材料表面雕刻刻痕有浅变深,逐渐清晰;但随着激光功率增大,雕刻速度降低,雕刻刻痕会出现发黑甚至过烧现象,这是由能量堆积引起的。

(2) 对于低熔点材料木板和有机玻璃,适合选择较低的激光雕刻功率,配合适宜的雕刻速度,才能使雕刻边缘齐整,字符美观,刻痕清晰可辨。

(3) 对于高熔点硬脆材料大理石,激光功率较高时,雕刻质量较好,雕刻槽的边缘齐整锐利,无熔渣形成;但当雕刻速度较低时,会产生颗粒剥落现象,使雕刻边缘粗糙不齐整。

参考文献:

- [1] Wang Hongjie, Guo Wengang, Dong Zhaohui, et al. Application of Laser etching technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(5): 469-472. (in Chinese)
王宏杰, 郭文刚, 董兆辉, 等. 激光刻蚀技术的应用[J]. *红外与激光工程*, 2004, 33(5): 469-472.

- [2] Yang Yongqiang. Cladding of high speed steel by high power diode laser [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(3): 251-254. (in Chinese)
杨永强. 大功率半导体激光熔覆高速钢研究[J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(3): 251-254.
- [3] Lu J Z, Luo K Y, Zhang Y K, et al. Grain refinement mechanism of multiple laser shock processing impacts on ANSI 304 stainless steel [J]. *Acta Materialia*, 2010, 58(16): 5354-5362.
- [4] Zhong Minlin, Yang Lin, Liu Wenjin, et al. Laser direct manufacturing W/Ni telescope collimation component [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(4): 482-486. (in Chinese)
钟敏霖, 杨林, 刘文今, 等. 激光快速直接制造 W/Ni 合金太空望远镜准直器[J]. *中国激光*, 2004, 31(4): 482-486.
- [5] Yu Zhen, Miao Xianwen, Wen Yi, et al. Technology research on CO₂ laser carving[J]. *Mechanical Engineer*, 2006, 6: 41-43. (in Chinese)
余震, 缪宪文, 文艺, 等. 采用 CO₂ 激光器进行激光雕刻工艺研究[J]. *机械工程师*, 2006, 6: 41-43.
- [6] Zhao Jing. The technological investigation of laser engraving wood [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007. (in Chinese)
赵静. 木质材料激光雕刻加工技术的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [7] Liu Teng. High-frequency pulse solid-state laser deep engraving technology research[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009. (in Chinese)
刘腾. 高频率脉冲固体激光深雕刻技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
- [8] Wang Cheng. Study on three-dimensional carving technique by laser ablation of hard materials [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)
王成. 硬质材料的激光三维雕刻技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.