

激光加工参数对木材加工性能的影响

李荣荣, 徐伟, 熊先青, 方露, 方晓阳

(南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)

摘要: 激光因能量密度高、单色性以及方向性好等优点, 被广泛应用于材料加工与热处理等领域。由于木质材料对激光具有良好的吸收性能, 近年来激光也被用于木质材料的加工。通过总结分析木质材料激光加工的原理、方式以及工艺特点, 探索木质材料的激光新型加工方法, 以提高木质材料加工效率与性能, 为木质材料激光加工技术的推广应用提供参考。

关键词: 激光加工; 木质材料; 研究进展; 热处理

中图分类号: S781.6; TS64 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2018) 06-0028-04

Effects of Laser Processing Parameters on Wood Processability

LI Rong-rong, XU Wei, XIONG Xian-qing, FANG Lu, FANG Xiao-yang

(College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: As an advanced manufacturing technology, laser is widely used in material processing and modification due to its high energy density, monochromaticity and good directivity. The authors summarized principles, application types and characteristics of laser processing in wood processing and wood-based materials manufacturing and explored potentials for laser modification and processing in order to provide references to laser processing technology for improving efficiency of wood processing and performance of wood materials

Key words: laser processing; wood-based material; research progress; thermal treatment

激光, 作为一种高方向性、高亮度性、高单色性的电磁波, 由一系列反射镜和透镜控制聚焦成直径很小的光斑 (0.1 mm), 具有极高功率密度输出的特点 (104~109 W/cm²), 广泛应用于材料的表面热处理、打孔、切割、焊接等加工^[1]。

根据激光束与材料相互作用的机理, 激光加工大体可分为激光热加工和光化学反应加工两类。其

中激光热加工, 即利用激光束投射到材料表面产生热效应, 使材料发生物理、化学变化, 从而达到加工的目的^[2]。

木质材料激光切割与表面处理, 是从金属材料加工领域兴起并衍伸而来的一门先进加工技术。木质材料的激光热处理过程, 是光学、热学和力学相互耦合、相互影响的过程, 是激光和木材的相互作用及能量转换的过程, 木质材料表层主要发生热量吸收、材料气化及炭化等变化^[3], 但激光热处理的改性与性能变化规律尚不明确。

笔者从激光在木质材料切割、雕刻以及热处理等方面的应用着手, 总结分析木质材料激光加工的原理、加工参数对加工性能的影响规律以及发展趋

收稿日期: 2018-05-02; 修改日期: 2018-10-22

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究项目“基于激光辐照的木材选择性改性机理及瞬态温度场研究”(18KJB220008); 中国博士后科学基金“竹基纳米碳纤维负载 TiO₂ 复合材料制备及光催化机理研究”(2017M610778); 南京林业大学青年科技创新基金“木材激光选择性改性机理及瞬态温度场模拟研究”(CX2017009)。

作者简介: 李荣荣 (1990—), 南京林业大学讲师。

势, 以期为木质材料激光加工技术的应用提供参考。

1 木质材料激光切割技术

1.1 激光切割工艺的优势

近 50 年来, 激光技术作为一种先进的加工方式, 一直是切削加工领域最前沿的技术。木材的激光切割, 是利用透镜集中光束, 将高能量激光光束照射在木质材料表面, 激光光能交换成热能, 被木质材料吸收而诱发分子振荡, 在急剧发热时, 木质材料气化、炭化或燃烧。

与常规的刀具切削方式相比, 木质材料激光切割工艺有如下优点:

- 1) 切割设备与材料非直接接触, 切割过程无切削力影响工件与刀具, 无刀具磨损等缺陷;
- 2) 切缝细窄, 切割损失小, 木材出材率高。传统圆锯锯切时, 常规锯路宽度约 2.5 mm, 且受被锯切材料的厚度、圆锯尺寸以及圆锯自身稳定性等因素的影响显著。而激光切缝宽度一般在 0.2~1.0 mm 之间, 节材优势显著^[4];
- 3) 激光喷嘴由 CNC 机床进行驱动, 启停位置可控, 可用于复杂零件的轮廓切割, 也可用于钻孔, 精度可以达到 $\pm 50 \mu\text{m}$ ^[5];
- 4) 加工速度快, 能耗低, 成本低;
- 5) 切割噪音低, 有利于改善工作环境质量;
- 6) 切割自动化程度高, 安全性更高。

由于激光加工的诸多优点, 国内外学者不断探索与优化木质材料激光切割的工艺参数, 现有研究主要集中于: CO_2 激光切割参数 (对焦距离、激光功率、以及进给速度等), 与切割质量 (切缝宽度、切缝平整度、切缝表面质量等)、激光切割成本以及切割效率等的相关性^[6-7]。

1.2 激光加工参数的影响

激光功率、切割速度、吹气压力以及对焦位置等参数, 直接影响切割深度、切缝宽度、材料去除量、能量消耗、热影响层的深度、切缝粗糙度等。

1) 切缝上口宽度 随着对焦位置、切割速度以及吹气压力的增加而降低; 切缝下口宽度随着切割速度增加而降低, 但随激光功率增加而增加。原因在于激光功率、对焦位置及进给速度, 直接决定切缝平面内激光能量的分布规律, 进而影响切缝深度

与宽度。切缝上下口的比值, 是衡量切缝平直度的重要指标, 可随进给速度的加快而增加, 即一定范围内, 切割速度的过度增加, 将导致切割质量下降^[8]。

2) 切缝粗糙度 在中密度纤维板切削中, 随着激光功率和对焦距离的增加, 切缝表面粗糙度下降; 随切削速度和吹气压力的增加, 粗糙度值增加。

以 6 mm 厚中密度纤维板切削为例, 当切削功率 417~491 W, 切削速度 2 003~2 241 mm/min, 吹气压力 0.4~0.45 MPa 范围时, 切缝表面粗糙度值 R_a 最小仅 $4.994 \mu\text{m}$ ^[9]。因此, 不同材料激光切割时, 需通过激光参数的合理组合, 以降低切缝表面粗糙度。

3) 切削厚度 直接影响能量的传导, 激光切削的理想状态为切缝位置材料发生气化, 而非燃烧。切削厚度越大, 底层材料吸收的激光热能越少, 当能量小于木材气化所需热量时, 切削过程就会伴有燃烧或炭化出现, 切缝位置颜色发黑, 影响切削表面的外观质量以及胶合性能。

因此, 激光更适合于薄板类产品切割, 如薄木拼花的备料阶段, 可利用数控激光机床, 对复杂花纹形状进行裁切, 具有精度高、效率高及自动化程度高等优点。

4) 胶合性能 有研究表明, 激光加工后表面的胶层剪切强度比砂光加工表面下降 75.3%^[10]。因此, 激光加工表面还需经砂光等后处理工艺, 以改善胶合性能。

5) 热影响层 由激光辐照形成的热影响层厚度范围通常为 14~70 μm 。在激光热源的作用下, 木材组织受热而发生变化的区域厚度 (图 1), 受材料早晚材、切割方向以及激光加工参数的影响显著^[11]。

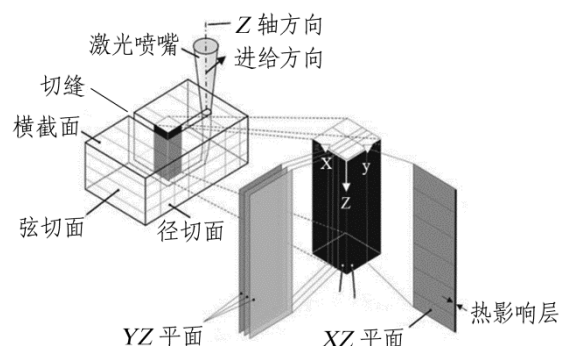


图1 木材激光切割热影响层示意图
Fig.1 Thermal influence layer Diagram for laser cutting of wood

6) 激光波长 激光波长决定了能量强度。以266、355以及1064 nm等不同波长激光切割木材时,以355 nm波长的激光切割性能最好,切缝位置热影响层较薄,切缝切口外观质量好^[12]。主要原因在于木材对不同波长的激光吸收率不同,355 nm短波长激光切割时,对激光能量吸收最大的是木质素^[12]。

<400 nm的短波长UV激光也可被用于木材打孔加工,打孔位置热影响区域不明显,故孔位表面质量好^[13]。

1.3 材料性能参数的影响

1) 木材的光学性质 木材的光学性质决定对不同波长激光的吸收程度,木材对激光的吸收能力越强,激光加工时能量利用率越高。有研究表明,木材中纤维素分子对于波长为8.30~10.00 μm 的激光吸收能力最强;10.6 μm 波长的CO₂激光最接近纤维素的吸收波长范围,比较适合木质材料加工^[14]。

2) 木材含水率 高含水率木材导热性能好,会减弱加工区域的能量聚集强度,降低激光的加工能力,激光加工的速度随木材含水率的增加而降低。

干湿木材激光切削性能的对比研究结果表明,在相同的加工条件下,湿木材(含水率95.71%)的单次切削深度比干木材(含水率5.58%)下降72%^[15]。

3) 木材密度 激光切割密度较大的木材时,能量消耗更大,切割进给速度随之降低^[16]。

此外,木材的纤维方向、早晚材等因素,也会影响实木的激光切割质量。

2 木质材料表面激光雕刻技术

激光雕刻加工是以数控技术为基础,以激光为加工手段,使被加工材料在激光辐照作用下,受热而瞬间气化,从而完成快速高精度的加工,材料表面无变形^[16]。

CO₂激光雕刻过程中,进给速度、对焦距离以及电流等参数,对切槽的形式、深度以及表面质量的影响显著。对于三倍体毛白杨(*Populus tomentosa*)、落叶松(*Larix gmelinii*)以及樟子松(*Pinus sylvestris*)等木材,最佳工艺参数为:激光对焦距离2 mm,切割速度35~40 mm/s,电流5~10 mA^[17]。

由于激光热能烧灼产生切槽的横截面呈“V”形,切槽宽度和深度随切割速度降低而增大,但随激光

电流增大而增大。其中,切割速度和激光电流对切槽深度的影响程度,大于切槽宽度的影响^[18]。低功率的CO₂激光,可通过调节进给速度与激光频率,对木质材料表面进行不同程度的灼烧,根据设定图形,实现木质材料表面打标功能^[19]。

3 木质材料表面激光热处理技术

木材表层激光热处理技术,是将激光热源辐射材料表面,使其表层发生物理、化学变化,进而达到材料表层改性的目的。近年来,相关研究者逐步在木材激光处理领域开展了探索。

1) 利用激光辐照技术,对木质材料表面颜色进行调控。木材表面颜色的总色差值(ΔE^*),随着激光辐射能量的增加而增大,但随进给速度的加快而降低。山毛榉(*Fagus sylvatica*)木材表面的明度(L^*)经辐照后呈下降趋势^[20]。木材颜色的变化,与材料化学成分中发色基团数量变化直接相关^[20-22]。

通过改变激光参数,以及木材纹理方向、早晚材等参数,可实现对木质材料表面改性程度的控制与改性位置的选择,进而达到木质材料表面颜色调控的目的^[23]。

2) 由于激光热处理过程,木质材料内部化学成分发生变化,木材表面的润湿性、涂饰性能以及防腐性能将相应提高。当激光辐射能量最大时,木材中糖类化合物总量下降比例可达56.7%。正是由于糖类物质含量下降,激光处理材表面的耐腐蚀性能也有一定提高^[20-21]。

如大功率激光辐照的山毛榉木材表面,对黑曲霉菌的生长有良好的抑制作用,但对青霉菌的生长抑制作用不明显^[23-24]。

傅里叶红外光谱以及气相-质谱联用仪(GC/MS)等分析,也证实木质材料中木质素与糖类物质易受激光热源作用,从而发生结构与化学基团的变化^[25]。

4 结语

目前,在木质材料激光切割技术领域,基本探明了激光参数对木质材料作用的机理,以及激光参数与木质材料加工性能之间的协同作用机制。

在木质材料激光热处理领域,现有研究主要集中在激光热处理参数对木质材料表面颜色、美学效

果等的影响,基础理论研究尚不成熟,尤其是激光热处理改性机理、木材细胞壁层破坏机制、能量传导效率以及表层温度场变化规律等,有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 陈苗海. 中国激光加工产业现状和发展前景[J]. 激光与红外, 2004, 34(1): 73-77.
- [2] 江海河. 激光加工技术应用的发展及展望[J]. 大气与环境光学学报, 2001, 14(4): 1-12.
- [3] 杜洋, 徐伟, 钱庆鹏. 激光加工及其发展[J]. 四川水泥, 2017, (01): 114.
- [4] McMillin C W, Harry J E. Laser machining of southern pine[J]. Forest Products Journal, 1971, 21 (10): 35-37.
- [5] Powell J, Kaplan A. Laser cutting: from first principles to the state of the art[C]. Proceedings of the 1st Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics, Melbourne, 2004: 1-6.
- [6] Hernandez-Castaneda J C, Sezer H K, Li L. Dual gas jet-assisted fibre laser blind cutting of dry pine wood by statistical modelling[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 50(1-4): 195-206.
- [7] Eltawhni H A, Rossini N S, Dassisti M, et al. Evaluation and optimization of laser cutting parameters for plywood materials[J]. Optics and lasers in engineering, 2013, 51(9): 1029-1043.
- [8] Li Rongrong, Guo Xiaolei, Cao Pingxiang, et al. Optimization of laser cutting parameters for recombinant bamboo based on response surface methodology[J]. Wood Research, 2016, 61(2): 275-285.
- [9] Eltawhni H A, Olabi A G, Benyounis K Y. Investigating the CO₂ laser cutting parameters of MDF wood composite material[J]. Optics & Laser Technology, 2011, 43(3): 648-659.
- [10] Alejandro Martínez-Conde, Thomas Krenke, Stephan Frybort, et al. Review: Comparative analysis of CO₂ laser and conventional sawing for cutting of lumber and wood-based materials[J]. Wood Science & Technology, 2017, 51(2): 1-24.
- [11] Barcikowski S, Koch G, Odermatt J. Characterisation and modification of the heat affected zone during laser material processing of wood and wood composites[J]. Holz Als Roh-Und Werkstoff, 2006, 64(2): 94-103.
- [12] Satoshi Fukuta, Masaki Nomura, Takeshi Ikeda, et al. Wavelength dependence of machining performance in UV-, VIS- and NIR-laser cutting of wood[J]. Journal of Wood Science, 2016, 62(4): 316-323.
- [13] Satoshi Fukuta, Masaki Nomura, Takeshi Ikeda, et al. UV laser machining of wood[J]. European Journal of Wood & Wood Products, 2016, 74(2): 261-267.
- [14] Zhou B H, Mahdavian S M. Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO₂-laser[J]. Journal of materials processing technology, 2004, 146(2): 188-192.
- [15] Hernandez-Castaneda J C, Sezer H K, Li L. The effect of moisture content in fibre laser cutting of pine wood[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2011, 49(9-10): 1139-1152.
- [16] 孙萍. 激光在木材及木质材料上的应用[J]. 林业科技情报, 1995, (4): 6-7.
- [17] 赵静, 钱桦, 张厚江, 等. 激光雕刻木材工艺参数的研究[J]. 木材加工机械, 2006, 17(6): 15-17.
- [18] 张厚江, 钱桦, 王磊, 等. 木质材料激光雕刻技术的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2006, 34(2): 23-26.
- [19] 李尧, 张家骅, 马玉莹. 竹木材料激光打标工艺分析及应用[J]. 林业机械与木工设备, 2015, (4): 34-36.
- [20] Kačík F, Kubovský I. Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2011, 222(1): 105-110.
- [21] Vidholdová Z, Reinprecht L, Igaz R. The impact of laser surface modification of beech wood on its color and occurrence of Molds[J]. Bioresources, 2017, 12(2): 4177-4186.
- [22] Papp G, Barta E, Preklet E, et al. Changes in DRIFT spectra of wood irradiated by UV laser as a function of energy[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry, 2005, 173(2): 137-142.
- [23] Zuzana Vidholdova, Ladislav Reinprecht, Rastislav Igaz. The Impact of laser surface modification of beech wood on its color and occurrence of molds[J]. Bioresources, 2017, 12(2): 4177-4186.
- [24] Li Rongrong, Xu Wei, Wang Xiaodong, et al. Modeling and predicting of the color changes of wood surface during CO₂ laser modification[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 183: 818-823.
- [25] František Kačík, Danica Kačíková, Tatiana Bubeníková. Spruce wood lignin alterations after infrared heating at different wood moistures[J]. Cellulose Chemistry & Technology, 2006, 40(8): 643-648.

(责任编辑 向琴)

2019年《林产工业》杂志征订启事

创刊于1964年,为北大中文核心期刊,被国内外多个大型数据库收录。

主要读者: 林业产业、家居产业及相关行业从事木材加工、人造板、家具(含红木家具)、木门、地板、木结构、林业产业园区等的企业、设备制造厂家以及从事有关科研、教学、咨询、设计、管理与市场营销的人员。

订阅费用: 每月6日出版,大16开,正文72页;全年12期,每期定价16元,全年192元;邮

局挂号每期另加3元,邮发代号2-141。

订阅方式: 微店关注微信号: linchangongye, 点击“协会期刊”→“期刊订阅”。

联系方式:

电话: 010-85128131

工作 qq: 1486638813

邮箱: guanggaowt@qq.com

杂志官网: www.cfpi.cn

微信公众平台二维码(见右)

