

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150380

拼花实木复合地板激光切割制备工艺研究

赵洪刚^{1,2} 乐磊¹ 刘明利^{1,2} 吴俊华^{1,2} 刘彦龙¹

(1 北华大学吉林省木质材料科学与工程重点实验室 2 吉林中信美来木业集团有限责任公司)

摘要:为确定激光切割拼花实木复合地板的优化工艺参数,采用正交试验法,以树种、焦距、切割速度、光强和切割角度为因素设计试验方案,以缝宽、缝深、烧蚀程度为评价指标,采用体视显微镜检测试验结果。结果表明:激光切割对缝宽影响的因素主次为焦距>切割角度>切割速度>树种>光强,最优工艺是 $A_4B_4C_5D_1E_1$,焦距对缝宽影响显著;对烧蚀程度影响的因素主次为焦距>切割速度>切割角度>树种>光强,最优工艺是 $A_1B_1C_2D_5E_4$,焦距对烧蚀程度影响显著;对缝深影响的因素主次为切割速度>树种>焦距>光强>切割角度,最优工艺是 $A_5B_4C_1D_5E_5$,由于各种因素有交互作用,造成没有对缝深影响显著的因素。柞木表板激光切割参数为焦距6.0 mm、切割速度30 mm/s、光强75~80 cd,水曲柳表板的激光切割参数为焦距6.0~7.5 mm、切割速度30~40 mm/s、光强40~60 cd。采用合理的切割参数可以获得较好的切割质量,减少甚至无需遮盖烧蚀程度、处理拼装离缝等后续的加工工艺,即满足地板拼花的需要。

关键词:表板;激光加工;缝深;缝宽;烧蚀程度

中图分类号:S784 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2016)06-0110-06

ZHAO Hong-gang^{1,2}; LE Lei¹; LIU Ming-li^{1,2}; WU Jun-hua^{1,2}; LIU Yan-long¹. **Laser cutting preparation technology of solid wood parquet laminate flooring.** *Journal of Beijing Forestry University*(2016)**38**(6) 110-115 [Ch,22 ref.]

1 Wood Material Science and Engineering Key Laboratory of Jilin Province, Beihua University, Jilin, 132013, P. R. China;

2 Jilin Zhongxin Meilai Forestry Group CO., LTD, Dunhua, Jilin, 133700, P. R. China.

This study adopted orthogonal experiment to confirm the optimum technological parameters of laser cutting of solid wood parquet laminate flooring. We took tree species, focal distance, cutting speed, light intensity and cutting angle as design factors of the scheme and seam width, seam depth and ablation degree as evaluation indexes, the stereomicroscope was used to test the result. The result showed that influencing factors on the seam width from strong to weak followed the order of focal distance > cutting angle > cutting speed > tree species > light intensity, and the optimum conditions were $A_4B_4C_5D_1E_1$, in which focal distance had a great effect on seam width. The factors influencing ablation degree were ranked from high to low as focal distance > cutting speed > cutting angle > tree species > light intensity, and the optimum conditions were $A_1B_1C_2D_5E_4$, in which focal distance had a great influence on ablation degree. The factors impacting seam depth were ranked from strong to weak as cutting speed > tree species > focal distance > light intensity > cutting angle, and the optimum conditions were $A_5B_4C_1D_5E_5$. Because of interaction of various factors, there was no remarkable influencing factor to seam depth. Laser cutting parameters of oak face veneer were: focal distance 6.0 mm, cutting speed 30 mm/s, and light intensity 75-80 cd. Laser cutting parameters of *Fraxinus mandschurica* face veneer were focal distance 6.0-7.5 mm, cutting speed 30-40 mm/s, and light intensity 40-60 cd. Reasonable use of

cutting parameters may acquire good cutting quality, reduce or have no need of subsequent processing crafts so as to fulfill the demands of parquet flooring such as covering ablation degree and handling the gaps.

Key words face veneer; laser processing; seam depth; seam width; ablation degree

实木拼花地板可以由拥有高超技术的设计师和工艺师按照要求的尺寸、厚度和图案量身定制,但需要多种实木拼合,所以造价高^[1]。实木拼花地板不是一个新概念产品,在国外已经有较广泛的应用,以俄罗斯和意大利为早^[2-3]。目前国内大多数家庭的地板都是直条木地板,并且安装方式也比较单一,按一个方向直铺。拼花则更类似于木地板中的高端艺术品,其生产工艺有一定的难度,用材的选择、含水率的控制和制作精度的保证等都是不可忽略的重要环节^[4-7]。

切割工艺在木材中应用较多,但传统切割机床噪音大、浪费电能,还不能保证有很高的加工精度^[8-11]。激光切割是热切割方法之一,使被照射的材料迅速熔化、汽化、烧蚀或达到燃点^[12-14]。激光加工木材时需要的功率很低,加工精度高,材料利用率高,而且激光切割没有刀具加工成本。激光切割设备通常采用计算机化数字控制技术装置,利用数据线从计算机辅助设计工作站来接受切割数据^[15-18]。它精准的加工工艺、噪音小、污染小的特点,渐渐将超越传统的木材加工机械^[19-21],在木材加工中的应用将越来越普及。

目前一些研究所和高校也都在研究激光雕刻技术,但大多是对金属加工,用于木材方面的比较少。由于木材材质的多样性,造成激光切割参数的复杂性,其参数的合理性受很多因素影响。本研究将不同树种、同一树种不同热处理、不同树种不同热处理的表板材料切割成不同的小块^[22],然后在基板上拼成不同的图案再进行胶合,制作拼花地板。在切割中如果参数控制不当,会产生切不透或者过切现象(过切指实际能切透的板厚比所切割的板厚大的现象,不但烧蚀程度过大,表面粗糙度变大,而且也会造成能源浪费)。为降低成本,采用低等级表板制

作拼花实木复合地板,探讨在不同条件下激光切割木材的优化工艺参数。

1 材料与方法

1.1 材 料

树种有柞木(*Quercus* spp.)、椴木(*Tilia* spp.)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、鱼鳞松(*Picea jezoensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandschurica*),尺寸 190 mm × 190 mm × 12 mm。

1.2 仪 器

砂光机、带移动工作台锯板机、电子游标卡尺、钢尺、CMA1390 激光切割机(功率 130 W)、体视显微镜(OLYMPUS-SZX16)。

1.3 方 法

为节省珍贵树种,使用低等级实木做拼花复合地板的表板进行试验。首先将各种实木材料切割成不同的小块,然后拼成具有各种花纹和图案的拼花地板,利用各种实木的天然纹理,形成不同的花色,提高地板的档次。为确定各种木材在切割中的合理工艺参数,从切割质量、切削工艺条件、材质本身特性等多个角度进行探索。1) 检验指标(切割质量): 切割深度(即缝深,单位 mm)、切缝宽度(即表面的最大切缝宽,切缝呈上宽下窄的 V 型,单位 mm)、燃烧程度(即烧蚀程度,指切缝处残留炭化层表面的宽度,单位 mm)。2) 激光切割机的主要参数(切割速度 mm/s、光强 cd、焦距 mm)对切割质量的影响。3) 木材本身因素(如树种、纹理(即切割角度,指激光走刀方向与木材纹理的夹角))对切割质量的影响。

确定试验方案(表 1),考虑因素如下:1) 图案设计:在同一块试样上体现所有的水平以减小个体差异的影响,同一参数的图案画出 3 条线,每条直线长

表 1 正交试验表 L₂₅5⁶
Tab. 1 Orthogonal table L₂₅5⁶

水平 Level	树种 Tree species (A)	焦距 Focal distance (B)/mm	切割速度 Cutting speed (C)/(mm·s ⁻¹)	光强 Light intensity (D)/cd	切割角度 Cutting angle (E)/(°)
1	柞木 <i>Quercus</i> spp.	3.0	10	20	0
2	椴木 <i>Tilia</i> spp.	4.5	20	40	30
3	樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	6.0	30	60	45
4	鱼鳞松 <i>Picea jezoensis</i>	7.5	40	80	60
5	水曲柳 <i>Fraxinus mandschurica</i>	9.0	50	100	90

100 mm(直线长度过小,切割速度受加速度的影响而不均匀,缝深差别较大),测量时每条线测量左中右 3 个位置,每个图案切 3 块试样,取 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个数据的平均值,为的是体现木材个体差异和激光头起步、停止时加速度的影响,以减小试验误差,使得到的最优参数更有说服力。2) 根据正交试验设计图案切割参数,利用 CAD 画出图案。3) 将 CAD 图案用 Smart Carve4.3 软件设定切割参数,导入数控激光切割机完成切割。4) 在体视显微镜下检查缝宽和烧蚀程度。5) 将试样在锯板机上切断,每条切缝在左、中、右 3 个位置切断,将断口砂光后在体视显微镜下检查缝深。

2 结果与分析

2.1 检测结果

数控激光切割机切割后的样板如图 1 所示。



图 1 切割后的样板
Fig. 1 After being cut template

切割试样在显微镜下观察的图像如图 2、3 所示。

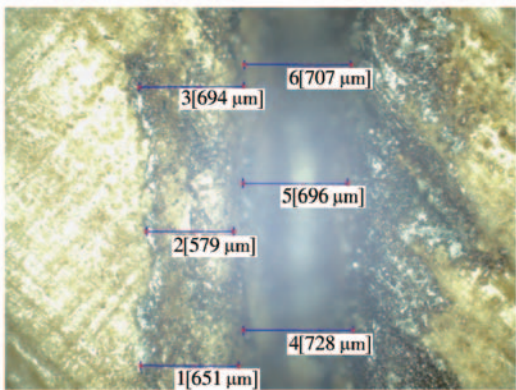


图 2 缝宽和灼蚀程度检测
Fig. 2 Detection of seam width and burning eclipse degree

测量数据结果见表 2。

2.2 数据分析

2.2.1 缝 宽

根据表 2,各因素对缝宽进行极差和显著性分析,如图 4 所示。

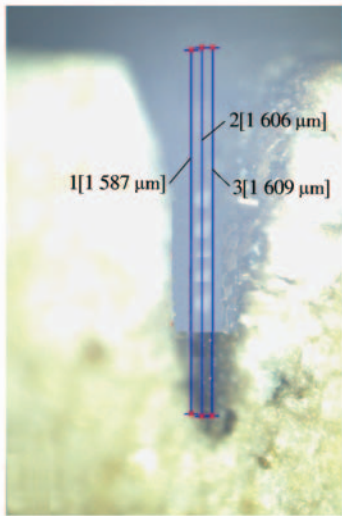


图 3 缝深检测
Fig. 3 Seam depth detection

表 2 激光切割试件检测结果

Tab. 2 Results of laser cutting sample test								
试验号					缝宽	烧蚀程度	缝深	
Experiment No.	A	B	C	D	E	Seam width/mm	Ablation degree/mm	Seam depth/mm
1	1	1	2	4	3	0.41	0.62	1.59
2	5	1	5	5	5	0.61	0.57	2.95
3	2	1	4	1	4	0.47	0.50	1.99
4	3	1	1	3	1	0.54	0.30	9.40
5	4	1	3	2	2	0.57	0.35	8.84
6	1	2	3	3	4	0.37	0.52	2.75
7	5	2	2	2	1	0.53	0.36	7.77
8	2	2	5	4	2	0.39	0.46	2.83
9	3	2	4	5	3	0.45	0.33	8.53
10	4	2	1	1	5	0.40	0.32	8.89
11	1	3	1	5	2	0.37	0.21	10.5
12	5	3	3	1	3	0.46	0.21	6.23
13	2	3	2	3	5	0.33	0.37	7.62
14	3	3	5	2	4	0.28	0.29	5.60
15	4	3	4	4	1	0.31	0.35	8.63
16	1	4	4	2	5	0.35	0.27	4.28
17	5	4	1	4	4	0.30	0.14	10.2
18	2	4	3	5	1	0.25	0.17	7.86
19	3	4	2	1	2	0.23	0.22	9.32
20	4	4	5	3	3	0.12	0.17	8.38
21	1	5	5	1	1	0.44	0.09	0.50
22	5	5	4	3	2	0.28	0.14	3.62
23	2	5	1	2	3	0.30	0.11	10.5
24	3	5	2	4	5	0.41	0.16	8.12
25	4	5	3	5	4	0.33	0.16	8.97

从图 4 可以看出:1) 激光切割不同树种时,阔叶材的缝宽比针叶材略大。柞木和椴木在 6 mm 以下焦距时切出的缝宽差距小,7.5 mm 以上时水曲柳和椴木缝宽差距小。针叶材中的樟子松和鱼鳞松在

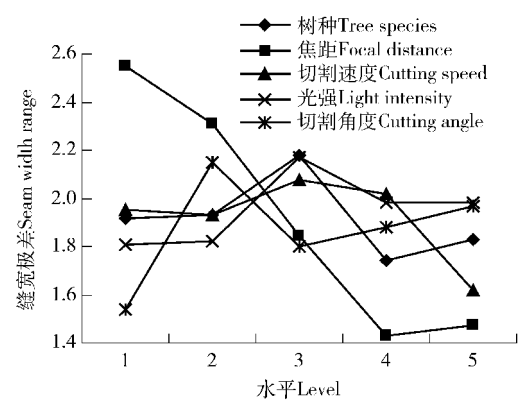


图4 缝宽极差分析
Fig. 4 Range analysis of seam width

焦距相同时,缝宽相差也小。2) 焦距在 6 mm 左右是最适宜的,不会导致切缝过宽或太窄。3) 切割速度在 10 ~ 40 mm/s 之间时,缝宽较大;大于 40 mm/s 时,缝宽会变小。4) 光强在 60 cd 左右时,缝宽达到峰值;光强大于 80 cd 后,缝宽明显大于 40 cd 以下的。5) 切割方向与纹理方向一致时,缝宽较小。切割角度从 0 ~ 30° 时缝宽变化最大,相差了 0.6 mm。可见:焦距对缝宽的影响最大,即焦距对缝宽的影响最显著,其次是切割角度、切割速度和树种,光强的影响较小。从均值看出,A 的第 4 水平最好,B 的第 4 水平最好,C 的第 5 水平最好,D 的第 1 水平最好,E 的第 1 水平最好,即最优工艺是 $A_4B_4C_5D_1E_1$,焦距对缝宽的影响最显著。

2.2.2 烧蚀程度

根据表 2,各因素对烧蚀程度进行极差和显著性分析,如图 5 所示。

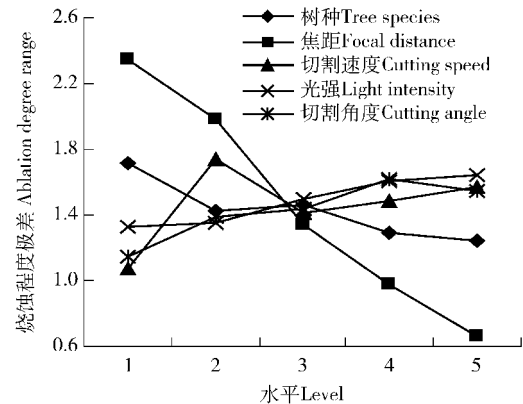


图5 烧蚀程度极差分析
Fig. 5 Range analysis of erosion degree

从图 5 可以看出:1) 激光切割不同树种时,阔叶材的烧蚀程度比针叶材略大。针叶材中的樟子松和鱼鳞松在同焦距下,烧蚀程度相差较小。2) 焦距在 6.0 ~ 7.5 mm 最适宜,不会导致烧蚀过大、过宽或切不透、浪费能源。3) 切割速度在 20 mm/s 左

右,烧蚀程度最大;切割速度在 30 mm/s 以上,烧蚀程度趋于稳定。4) 光强越大,烧蚀程度影响越大;光强小于 60 cd,烧蚀程度影响变小。5) 切割角度从 0 ~ 60°,烧蚀程度增加。可见:焦距对烧蚀程度的影响最大,其次是切割速度、切割角度和树种,光强的影响较小。最优工艺是 $A_1B_1C_2D_5E_4$,焦距对烧蚀程度的影响最显著。

2.2.3 缝深

根据表 2,各因素对缝深做极差和显著性分析,如图 6 所示。

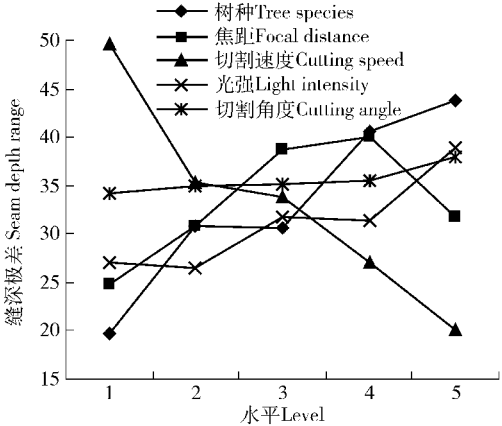


图6 缝深极差分析
Fig. 6 Range analysis of seam depth

从图 6 可以看出:1) 激光切割不同树种时,针叶材较硬阔叶材更易切透。椴木和水曲柳在切割速度相同时切出的缝深接近。针叶材中的樟子松和鱼鳞松在相同切割速度下,缝深相差也很小。2) 焦距在 6.0 ~ 7.5 mm 时,缝深最大;同时,不会导致烧蚀过大和缝隙过宽或切不透、浪费能源。3) 切割速度越快,缝深越小。4) 光强大于 80 cd 后,缝深变大更明显。5) 从平行纹理方向到垂直纹理方向呈递增趋势。可见:切割速度对缝深的影响最大,其次是树种、焦距和光强,切割角度的影响较小。最优工艺是 $A_5B_4C_1D_5E_5$ 。由于各种因素有交互作用,造成没有对缝深影响显著的因素。

2.3 应用分析

选择水曲柳和柞木作为拼花地板的表板试验对象,表板厚度约 5 mm。切割角度没在设计拼花图案中考虑,本研究主要确定激光切割机的切割参数——焦距、切割速度、光强。

在满足缝深要求的前提下,选取切割柞木合适的焦距为 6 mm,切割水曲柳合适的焦距为 6.0 ~ 7.5 mm(焦距 4.5 mm 时缝宽和烧蚀程度大,故排除)。

柞木在试验序号为 11 的情况下,缝深大(10.5 mm)、缝宽和烧蚀程度都较小,综合效果好,是较为合理的条件;但试验用表板厚度为 5 mm,切透即可,

无需过大。为提高生产率,同时减少烧蚀范围,综合考虑下选取切割速度 30 mm/s(取 40 mm/s 时接近序号 16 的试验效果,缝深不够),光强介于试验序号 11 和 16 之间,接近序号 11,故选取光强 75 ~ 80 cd。

同样道理,水曲柳在试验序号为 12 和 17 的情况下,综合效果较好,故焦距选取 6.0 ~ 7.5 mm,因为无需过大的缝深,为提高生产率,同时减少烧蚀范围(速度大、光强小),速度选取 30 ~ 40 mm/s,光强介于二者之间,选取 40 ~ 60 cd。

采用上述参数进行切割,实践证明表板能够切透,缝宽约 0.3 mm,烧蚀程度约 0.2 mm,能够满足拼花地板的拼装要求和艺术视觉效果。

3 结论与讨论

1)激光切割对缝宽影响的因素主次为焦距 > 切割角度 > 切割速度 > 树种 > 光强,最优工艺是 $A_4B_4C_5D_1E_1$,焦距对缝宽的影响最显著;对烧蚀程度影响的因素主次为焦距 > 切割速度 > 切割角度 > 树种 > 光强,最优工艺是 $A_1B_1C_2D_5E_4$,焦距对烧蚀程度的影响最显著;对缝深影响的因素主次为切割速度 > 树种 > 焦距 > 光强 > 切割角度,最优工艺是 $A_5B_4C_1D_5E_5$,由于各种因素有交互作用,造成没有对缝深影响显著的因素。木材激光切割工艺与板材质量、纹理的好坏有着密切关系。焦距对切割质量的影响是焦距越小,烧蚀程度越大,缝宽也越大;当焦距不断变大时,呈现出划痕的趋势。本文所说的最优工艺是指在试验范围内最合理的工艺参数端点,反映变化规律。影响切割质量因素的变化规律,尚需进一步试验,以确定合适切割质量(如缝深等)目标下的参数。

2)以柞木、水曲柳为原料,热压制备拼花地板作品。柞木激光切割参数:焦距 6.0 mm、切割速度 30 mm/s、光强 75 ~ 80 cd。水曲柳表板的激光切割参数:焦距 6.0 ~ 7.5 mm、切割速度 30 ~ 40 mm/s、光强 40 ~ 60 cd。制备出的样品烧蚀程度小,缝宽合理且能够切透,说明所选激光切割柞木、水曲柳表板的参数合理。

参 考 文 献

- [1] 周冠武. 拼花地板市场展望[J]. 国际木业, 2013(1):1-5.
ZHOU G W. Parquet: market outlook [J]. International Wood Industry, 2013 (1):1-5.
- [2] GOODELL B, KAMKE F A, LIU J. Laser incising spruce lumber for improved penetration[J]. Forest Products Journal, 1991 (1): 15-20.
- [3] RISHOLM-SUNDMAN M, WALLIN N. Comparison of different laboratory methods for determining the formaldehyde emission from

- three-layer parquet floors [J]. Holz als Roh - und Werkstoff, 1999, 57 (5):319-324.
- [4] 吕斌. 我国木地板行业现状及其发展趋势[J]. 人造板通讯, 2001(2):40-60.
LÜ B. Industry status and development tendency of wood-based flooring in China[J]. China Wood-Based Panels, 2001(2):40-60.
- [5] 刘新刚. 拼花彩色地面施工技术[J]. 农业新科技, 2005(1): 21-23.
LIU X G. Parquet color floor construction technology [J]. New Agricultural Sciencetech, 2005(1):21-23.
- [6] 张建. 建筑工程木地板的施工[J]. 民营科技, 2012(3):10-15.
ZHANG J. The construction of constructional engineering wood floor[J]. Non-State Running Science & Technology Enterprises, 2012(3):10-15.
- [7] 刘磊. 地板上的花样年华[J]. 建材与装修情报, 2010(9):2-4.
LIU L. Flowery life of floor[J]. Building Material and Decoration Information, 2010(9):2-4.
- [8] 朴永守. 木材特种切削加工[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1990:50-100.
PIAO Y S. Special cutting and machining of wood[M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1990:50-100.
- [9] 孟黎鹏,王春明,刘一楠. 三层实木复合地板的生产工艺及技术要点[J]. 中国人造板, 2011(11):16-23.
MENG L P, WANG C M, LIU Y N. Production technology and key points for three-layer parquet [J]. China Wood-Based Panels, 2011(11):16-23.
- [10] 赵祐. 实木复合地板面层裂纹产生原因及工艺改进[D]. 南京:南京林业大学, 2007:20-26.
ZHAO H. Causes and process improvement of layer crack on parquet [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007:20-26.
- [11] 司俊杰. 激光切割条纹形成机理[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2004:1-7.
SI J J. Laser cutting stripe formation mechanism [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2004:1-7.
- [12] 汤晓华,江新波,马岩. 木材的激光去除成型技术方法研究[J]. 林业设备与木工机械, 2002, 30(7):11-12.
TANG X H, JIANG X B, MA Y. Research on laser ablation prototyping technique method of wood[J]. Forestry Equipment & Woodworking Machinery, 2002, 30(7):11-12.
- [13] VOSSEN G, HERMANN S, SCHÜTTLER J. Analysis and optimal control for free melt flow boundaries in laser cutting with distributed radiation [J]. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 2015, 95(3): 297-316.
- [14] 杨伟. 高精度激光切割的理论及应用技术研究[D]. 烟台:烟台大学, 2009:1-13.
YANG W. A study of high precision laser cutting theory and applied technology[D]. Yantai: Yantai University, 2009:1-13.
- [15] 邓树森. 我国激光加工产业的兴起与腾飞[J]. 新材料产业, 2008(5):44-47.
DENG S S. The upsurge and soar of laser processing industry in China[J]. Advanced Materials Industry, 2008(5):44-47.

[16] 邓鸿林. 发展我国 CO₂ 激光加工产业的战略探讨[J]. 激光与红外线,1990,20(6):9-13.
DENG H L. Strategy of development on industrialization of powerful CO₂ laser material processing in China [J]. Laser & Infrared, 1990,20(6):9-13.

[17] 宋振电. 传能光纤激光雕刻系统图像处理的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学,2009;5-7.
SONG Z D. Research on image processing for lasser carving system of transmitting emerge fiber [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009;5-7.

[18] 张玉萍. 我国木制品标准体系的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院,2012;6-14.
ZHANG Y P. A research on wood production criterion system in China[D]. Beijing: China Forestry Science Research Institute, 2012;6-14.

[19] 王又良. 激光加工的最新应用领域[J]. 应用激光,2005,25(5):329-332.
WANG Y L. The latest application area of laser processing[J]. Applied Laser,2005,25(5):329-332.

[20] LIU P X, LIU H Q, ZHANG Y S. A new thin sheet heat source model for active gas melt laser cutting [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, (77): 1475-1481.

[21] 陈珺. 全实木拼花地板[J]. 现代装饰(家居),2011(3):154-155.
CHEN J. Solid wood parquet flooring [J]. Modern Decoration Home, 2011(3):154-155.

[22] 刘明利,黄茹,梁占坤,等. 炭化表板仿古实木复合地板工艺研究[J]. 木材加工机械,2013(6):26-28,15.
LIU M L, HUANG R, LIANG Z K, et al. A study on archaize effect on the carbonization process of three-layer parquet face veneer[J]. Wood Processing Machinery, 2013(6):26-28,15.

(责任编辑 李文军
责任编辑委 赵广杰)