

# 激光模切加工新技术的实验研究

许宝忠<sup>1</sup> 刘铁根<sup>1</sup> 王萌<sup>1</sup> 李梅<sup>2</sup> 张国顺<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 天津大学精密仪器与光电子工程学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

<sup>2</sup> 天津市力能激光技术有限公司, 天津 300072

**摘要** 为了改进传统包装纸盒模切工艺,进行了激光模切的实验研究。详细介绍了激光模切的工作原理,对振镜扫描方式的聚焦误差进行了分析,在采用射频 CO<sub>2</sub> 激光器、hurrySCAN14 扫描头和 RTC3 通用激光控制卡等构建的数控激光模切系统上,进行了激光模切技术的研究。与传统机械模切相比,激光模切在小批量样品的生产中具有方便、灵活、生产周期短和效率高等独特的优点。

**关键词** 激光技术;激光模切;压痕;振镜;射频 CO<sub>2</sub> 激光器

**中图分类号** TB486; TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.051403

## Experimental Study on New Technology of Laser Die-Cutting Processing

Xu Baozhong<sup>1</sup> Liu Tiegen<sup>1</sup> Wang Meng<sup>1</sup> Li Mei<sup>2</sup> Zhang Guoshun<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Opto-Electronic Information Technical Science, Ministry of Education, College of Precision Instrument & Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

<sup>2</sup> Tianjin Lineng Laser Technology Co., Ltd, Tianjin 300072, China

**Abstract** To improve the die-cutting process of the traditional packaging carton, experiments of laser die-cutting have been done. Details of the working principle of laser die-cutting were introduced, and scanning precision of the focusing was analyzed. A laser die-cutting system with galvanometer, radio frequency CO<sub>2</sub> laser, hurrySCAN14 scan head, RTC3 card and so on is built, and laser die-cutting has been done with this system. Compared with traditional mechanical cutting, laser die-cutting has lots of advantages, such as convenience, agility, short production cycle and higher efficiency especially in the packaging of small quantities samples.

**Key words** laser technique; laser die-cutting; scoring; galvanometer; radio frequency CO<sub>2</sub> laser

**OCIS codes** 140.3390; 140.3470; 140.3425

## 1 引言

机械模切技术是用木质模切板完成切割和压痕两种加工技术的统称,是纸箱纸盒印刷后加工的一项重要工艺,其质量的好坏直接影响到整个产品的市场形象。传统模切压痕的工艺流程(包装盒展开图设计-模切刀具加工-木质模切板加工-镶刀-模切压痕)前期工作十分复杂,而且耗时费力。而激光模切是依据计算机上包装盒的展开图样,通过控制聚焦激光束的参数,在纸板或瓦楞纸上实现模切和压痕。这种工艺具有设计方便、尺寸修改灵活、不涉及模切版的制作、生产周期短和效率高等特点,近年来受到了国内外一些研究者的关注。在国内,本课题组开展了数字化激光模切技术的研究,申请了相关专利,并获得了国家财政部高新技术研发资金的专项资助。

本文分析了激光模切的工作原理,设计了采用振镜扫描技术<sup>[1~3]</sup>的数控激光模切系统<sup>[4]</sup>,并在该系统上进行了包装纸盒的模切实验研究。

**收稿日期**: 2010-11-01; **收到修改稿日期**: 2010-12-16

**基金项目**: 国家财政部高新技术研发项目(2006-数控激光新型模切系统)资助课题。

**作者简介**: 许宝忠(1973—),男,博士研究生,主要从事激光加工技术方面的研究。E-mail: xubz@tju.edu.cn

**导师简介**: 张国顺(1938—),男,博士生导师,主要从事激光加工应用技术方面的研究。E-mail: zhanggsh@vip.sina.com

## 2 原 理

### 2.1 激光模切技术

机械模切技术虽然成熟实用,但是前期工序繁琐<sup>[5]</sup>,仅木质模切版的制作过程就费时费力,它需要在 20 mm厚的胶合板上,按照包装纸盒展开图开出刀缝,以便下一步镶嵌刀片,开缝可以用线锯,或者用激光切割,而且在使用过程中,刀刃还会发生磨损。激光模切就是在已印刷好的包装纸材上通过激光照射,一次性形成切缝和压痕的过程<sup>[6~8]</sup>。其中压痕效果主要是通过被加工物体表层物质蒸发,暴露出深层物质来实现,增大激光功率,当材料被激光穿透后,以一定的速度移动激光束,即可形成切缝效果。在加工过程中,按照存储在计算机内纸盒展开图的数据,通过控制激光参数,来完成部分区域切缝、部分区域压痕,即可一次性加工出实用的包装盒。相对传统机械模切工艺,激光模切不存在刀具磨损问题,而且调整设计十分方便。

用于激光模切的激光光束最好为 TEM<sub>00</sub>模,因为基模有轴对称的光强分布,衍射损耗最低,能达到最佳的光束聚焦效果。当高斯光束入射到焦距为  $f$  的透镜上时,聚焦后焦点处的光斑截面半径  $\omega_0 \approx \lambda f / \pi \omega$ ,前提条件是保证入射高斯光束的束腰远离透镜。当两者距离趋近于很大时,即可获得高质量的聚焦光斑。

目前,激光模切主要采用动光式,其中齿形带传动系统能够实现大幅面的模切,但其速度相对于传统模切工艺较低,适用于试制包装纸盒新样品或小批量的生产<sup>[9]</sup>;采用振镜和  $f-\theta$  平场透镜的扫描法能够达到 100 m/min的模切速度<sup>[10]</sup>,如国外 SRPCO、LASX 等公司的激光模切设备已应用在小幅面的商标和标签上<sup>[11,12]</sup>。

### 2.2 振镜扫描聚焦误差分析

振镜扫描的结构如图 1(a)所示,  $e$  为  $X, Y$  方向振镜的垂直距离,  $h$  为  $Y$  方向振镜距像场的垂直距离,  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  分别为振镜的偏转角度。当  $\theta_x = 0, \theta_y = 0$  时,光束指向像场坐标原点  $O$ 。设  $A$  为像场内任意一点,由几何关系可知其坐标  $(x, y)$  与振镜扫描角的关系为

$$\begin{aligned} x &= (\sqrt{h^2 + y^2} + e) \tan \theta_x, \\ y &= h \tan \theta_y, \end{aligned} \quad (1)$$

$X$  方向振镜到像场中心  $O$  点的光程为

$$S_1 = h + e, \quad (2)$$

到像场内  $A$  点的光程为

$$S_2 = \sqrt{(\sqrt{h^2 + y^2} + e)^2 + x^2}, \quad (3)$$

二者的光程差为

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \sqrt{(\sqrt{h^2 + y^2} + e)^2 + x^2} - (h + e). \quad (4)$$

$\Delta S$  即为像场平面上的聚焦误差,且随着  $x, y$  值的增大而增大,产生这种误差的原因是由于聚焦光斑的扫描轨迹构成的像场为曲面[如图 1(b)所示],与实际的加工平面仅在中心  $O$  点重合,在中心以外分离,且在像场的边沿处分离最大。如光线在  $A'$  处聚焦后又发散,到达工作平面上的  $A$  处形成一个较大尺寸的光斑,功率密度显著降低,影响了加工效果。

为了弥补缺聚焦误差,通常采用  $X/Y$  振镜加  $f-\theta$  平场透镜构成扫描头,对激光束进行聚焦,从而使激光束

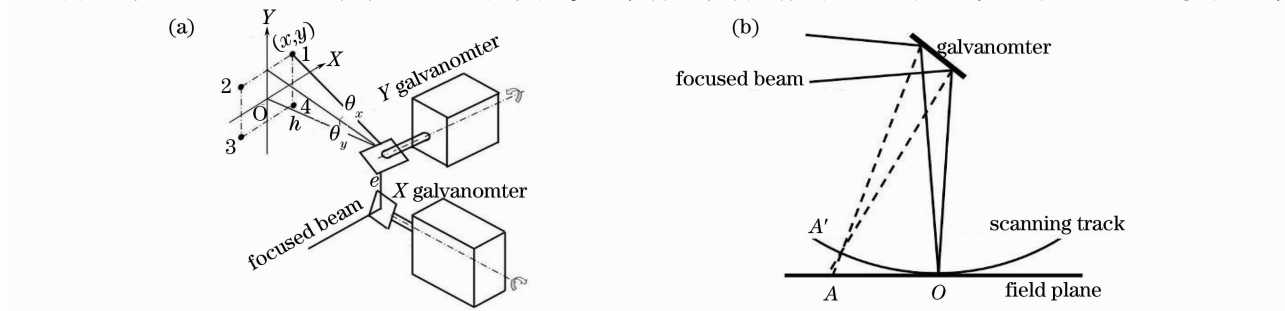


图 1 聚焦误差分析

Fig. 1 Focus precision analysis

焦点像场在同一个平面上,同时也对像场进行一定的修正<sup>[13,14]</sup>。当扫描范围尺寸很大时,除增加  $f-\theta$  透镜之外,还需要通过软件修正,以实现高精度的加工。

### 3 激光模切实验

#### 3.1 实验装置

根据振镜扫描原理,研制了数控激光模切系统如图 2 所示。其中激光器选用的是 Coherent 公司射频 CO<sub>2</sub> 激光器,具有光束质量好(光束发散角小于 8 mrad,  $M^2$  小于 1.2, 大于 98% TEM<sub>00</sub> 模输出)、聚焦效果好、加工精度高、性能稳定和功耗低等特点,激光器采用脉宽调制输出,最高调制频率可达 25 kHz。扫描头为 SCANLAB 公司的 hurrySCAN14,它是一种反应速度极高的数字型扫描头,其中  $f-\theta$  透镜将激光束聚焦在工作平面上,并且保证振镜偏转角度和焦点在像场中扫描的矢量大小成比例。扫描头的控制信号传输遵循 XY2-100 协议,通过串口和控制电路相连。RTC3 为通用激光控制卡,利用 Visual C++ 语言对其二次开发,实现对射频 CO<sub>2</sub> 激光器和扫描头的控制,同时提供可视化的图形操作界面,支持当前流行的矢量格式文件,如 PLT 与 DXF 等。为了防止模切纸边边缘出现氧化或燃烧情况,系统中可采用惰性气体保护技术,图 3 为激光模切系统装置的照片。

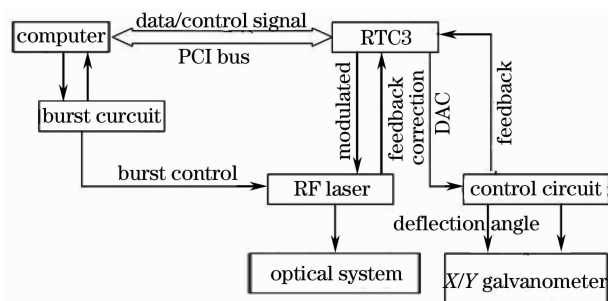


图 2 激光模切系统框图

Fig. 2 Theory of die-cutting system

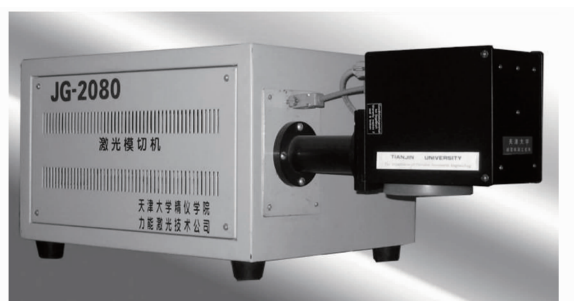


图 3 数控激光模切系统

Fig. 3 Numerical laser die-cutting system

#### 3.2 实验结果

用矢量绘图软件设计包装纸盒的展开图,模切线和压痕线可以通过设置不同线型或者颜色加以区分(如选用实线为模切线、虚线为压痕线),设计完成后导出 PLT 格式的数据文件。对于比较简单的纸盒展开图,也可以根据 PLT 格式的规则在文本编辑器中直接编写 PLT 文件<sup>[15]</sup>。软件系统读取 PLT 文件后在人机界面上显示,同时建立实线(模切线)和虚线(压痕线)两个数组进行数据存储。通常由绘图软件导入的 PLT 文件一般都不规则,即使连续的线段也是分成几个单独的小线段来处理,影响了模切的速度。系统对实线和虚线数组进行排序连接,使得可以连接起来的多个线段组合成一个新线段,从而提高了模切的速度。为了避免由于模切使得加工图形从材料上脱落或移位而导致模切失败,应先进行压痕加工,后进行模切工序。

用 AutoCAD 绘图软件设计纸盒的展开图样,设计完成后输出 PLT 格式的文件,模切系统软件读取该文件,在计算机上显示如图 4(a)所示(图中实线段为模切线,虚线段为压痕线)。实验中激光器输出功率固定,通过脉冲宽度调制(PWM)分别实现模切和压痕。模切样品如图 4(b)所示,从图中可以看出,模切线边

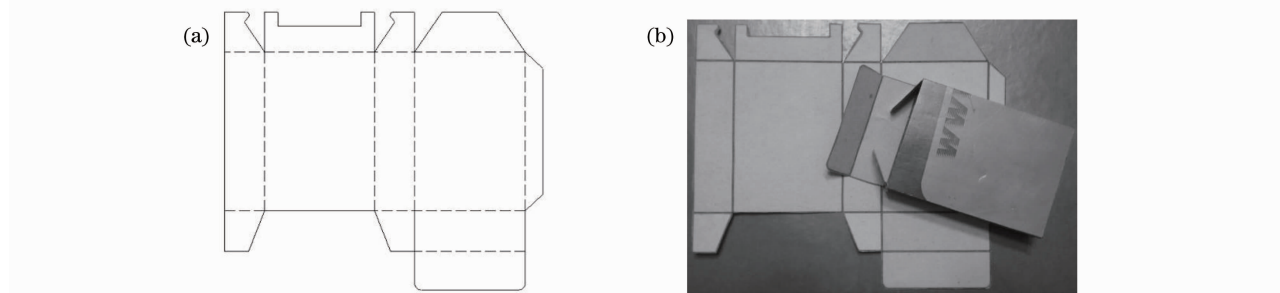


图 4 模切实验

Fig. 4 Experiment of laser die-cutting

沿比较光滑,压痕线有一定的深度,可以十分方便地进行折叠,效果很好。

此外,用激光进行模切压痕的同时,还可以在包装盒上标刻出生产日期、序列号或其它防伪标识以及开异形窗口、尖角、圆弧等(如图5所示),这是传统模切工艺无法实现的。

### 3.3 实验分析

#### 1) 模切压痕精度测试

图6是用激光模切获得的某一药品包装盒的展开图,在其上面选取了5条模切线和2条压痕线并分别进行编号,测量实际尺寸与设计尺寸的对比如表1所示。对比结果表明,模切线和压痕线尺寸都稍偏小,但可以满足常见纸盒的制作工艺要求。对尺寸精度要求高的纸盒,可以在控制软件中设定补偿来修正尺寸,十分方便,而传统机械模切的尺寸修改就会十分麻烦。

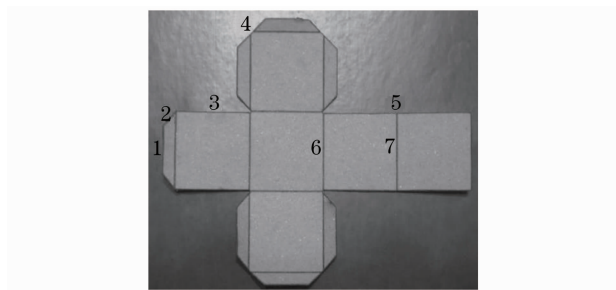


图6 某种药丸包装盒展开图  
Fig. 6 Expanded diagram of the box

#### 2) 模切压痕速度测试

振镜扫描速度固定,通过PWM调节激光功率输出,或者激光输出功率固定,调节振镜的扫描速度,都可以实现模切和压痕工艺。我们在包装用纸板上加工长为80 mm的模切线和压痕线各一条,对比分析了激光功率与模切压痕速度的关系(如图7所示,上面的线代表压痕速度,下面的线代表模切速度)。大量的模切压痕实验结果表明,对于某一给定的激光器功率,都有一个最佳的模切速度和压痕速度。

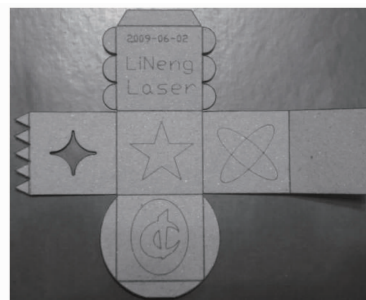


图5 多功能激光模切  
Fig. 5 Laser die-cutting with marking

表1 激光模切精度测试  
Table 1 Laser die-cutting accuracy test

No.	Design /mm	Measure /mm
1	19.2	18.84
2	9.05	8.78
3	32.0	8.78
4	18.1	17.60
5	64.0	63.76
6	96.0	95.52
7	32.0	31.64

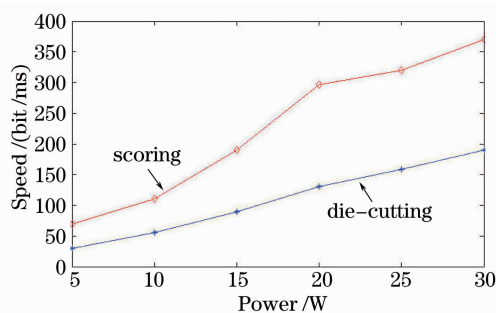


图7 激光模切和压痕速度测试  
Fig. 7 Laser die-cutting and scoring speed test

## 4 结 论

系统所选用的射频CO<sub>2</sub>激光器光束性能很好,但价格昂贵,对于模切精度要求不高的场合,也可以选用直管式激光器。目前,只是对食品、药品和日常生活用品等薄纸包装盒进行了实验。在今后的研究中,需要选用高功率的激光器进行模切,尽可能选用性价比较高的国产器件,这更有利于激光模切技术的推广。

我们同时也用直管CO<sub>2</sub>激光器进行了X/Y伺服传动系统激光模切实验,加工幅面实现了1 m×1 m,由于其速度没有振镜扫描快,可以应用在试制新包装盒样品或小批量纸盒的模切中。对于高速度、大幅面的激光模切可以借助大幅面振镜来实现,国外实用的激光模切机采用振镜扫描,幅面已经达到了1.5 m×1.5 m以上。

激光模切技术是针对传统模切技术的不足而出现的一种新型模切技术,是直接根据数字化信息进行加工的一种先进激光直接制造技术<sup>[1]</sup>,在国外已进入实用化阶段,它结合了光、电、机械、计算机等多项技术

为一体,直接制造包装盒,甚至已将激光模切和印刷机组合起来,形成自动生产线,包装纸张印刷后,立即进入激光模切工序,直接变为成品。因此,激光模切被专家誉为包装行业的又一次技术革命<sup>[4]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 Zhang Guoshun. Modern Laser Manufacturing Technology[M]. Beijing: Chemical industry press, 2006. 116~123  
张国顺. 现代激光制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 116~123
- 2 Jiang Ming, Jiang Yi. Analysis of scanning area limitation and maximum flying velocity in laser flying marking system[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(4): 993~997  
蒋 明,蒋 毅. 激光飞行标刻扫描幅面约束特性及最大飞行速度性能分析[J]. 中国激光, 2009, **36**(4): 993~997
- 3 Xu Baozhong, Liu Tiegeng, Wang Meng *et al.*. Research on laser marking technology for free-form surface[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(4): 2165~2169  
许宝忠,刘铁根,王 萌 等. 空间自由曲面激光标刻技术研究 [J]. 中国激光, 2010, **37**(8): 2165~2169
- 4 Hong Shenwei. Digital etching technology with laser-a challenge for traditional die-cutting [J]. *Graphic Arts*, 2003, (1): 24~25  
洪申伟. 激光数字化蚀刻加工术-对传统模切术的挑战[J]. 印艺, 2003, (1): 24~25
- 5 Zhou Hao. Packing carton (box) and the die-indentation technology[J]. *Print today*, 2008(11): 16~18  
周 浩. 包装纸盒(箱)与模切压痕技术[J]. 今日印刷, 2008, (11): 16~18
- 6 G. Craig, J. Greg. Digital laser die cutting can open new opportunities[J]. *Canadian Printer*, 2006, **114**(2): 10
- 7 Davison Mike. Laser die-cutting inline or offline[J]. *Folding Carton Industry*, 2005, **32**(1): 56~57
- 8 Chen Wenge. New technology for surface decoration-laser die-cutting[J]. *Print today*, 2006, (8): 39~41  
陈文革. 表面整饰新技术-激光数字模切[J]. 今日印刷, 2006, (8): 39~41
- 9 Wang Meng. The Study of Numeral Control Laser Die-Cutting System[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. 6~8  
王 萌. 数控激光模切系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2008. 6~8
- 10 <http://www.spartanics.com>
- 11 <http://www.srpco.com/laser-die-cutting.html>
- 12 <http://www.lasx.com/print/commercial-print.htm>
- 13 Zhu Linqun. Error analysis and correcting method of the two vibrational mirrors scanning system[J]. *Applied Laser*, 2001, **21**(5): 325~327  
朱林全. 双振镜二维扫描系统的误差分析和校正技术[J]. 应用激光, 2001, **21**(5): 325~327
- 14 Xie Jun, Duan Zhengcheng, Shi Yusheng. Study of key technologies for galvanometric scanning system used in selective laser sintering[J]. *Manufacturing Automation*, 2004, **26**(4): 9~12  
谢 军,段正澄,史玉生. 用于SLS快速成形制造中振镜式激光扫描系统的关键技术[J]. 制造业自动化, 2004, **26**(4): 9~12
- 15 Yang Kui, Wang Xijie, Sun Liyuan *et al.*. Research on vector graphics output from laser engraving system [J]. *Instrumentation Technology*, 2008, (11): 59~60  
杨 奎,王锡洁,孙丽媛 等. 激光雕刻系统中矢量图形输出的研究[J]. 仪表技术, 2008,(11): 59~60