

# 基于塑料薄膜三色油墨的多通道烧蚀技术

周荣勇, 唐正宁

(江南大学, 无锡 214122)

**摘要:** 使用 Q-switched Nd : YAG 激光对普通塑料薄膜上多层彩色油墨进行了激光烧蚀, 从而产生了全触觉多色图像。研究表明这种方法产生的图像是具有防伪功能的。

**关键词:** 防伪; 激光烧蚀; 多通道; 塑料薄膜

**中图分类号:** TS851<sup>+</sup>.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)03-0121-04

## Multi-pass Ablation Technology Based on Three Colored Ink of Plastic Film

ZHOU Rong-yong, TANG Zheng-ning

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Multiple layered colored inks on ordinary plastic film was ablated using Q-switched Nd : YAG laser to generate a full colored image with tactile quality. It was showed that images generated in such a way have the features of anti-counterfeiting by color copying.

**Key words:** anti-counterfeiting; laser ablation; multi-pass; plastic film

随着高精度打印机、扫描仪、复印机的普及, 防伪压力同趋加大。当前大量的假冒伪劣商品给品牌企业和名牌商品带来了极大的破坏, 使企业和消费者蒙受了巨大的损失<sup>[1]</sup>。为了应对快速增长的安全威胁, 印刷工作者急需寻求一种有效的防伪方法。微结构防伪应运而生, 多层彩色油墨激光烧蚀正属于微结构防伪, 它产生凸起微结构, 从而具有触觉特性, 有利于防伪。

## 1 实验过程

### 1.1 设备描述

多层彩色油墨激光烧蚀使用的激光是 Maxi-Mark III 商业激光打印系统, 该系统使用 Q-switched Nd : YAG 激光, 它的辐射波长为  $1.06 \mu\text{m}$ , 使用氙弧灯, 电流在  $10 \sim 22 \text{ A}$  之间(对应  $10 \sim 80 \text{ W}$  的激光功率)。灯电流和激光功率之间的关系见图 1。实验使用的激光频率为  $1 \sim 30 \text{ kHz}$ ; 脉冲宽度  $8 \mu\text{s}$ ; 激光光斑的直径约为  $0.35 \sim 0.40 \text{ mm}$ <sup>[2-3]</sup>。

### 1.2 样本特征描述

实验使用丝网印刷油墨层。彩色层与白色层相

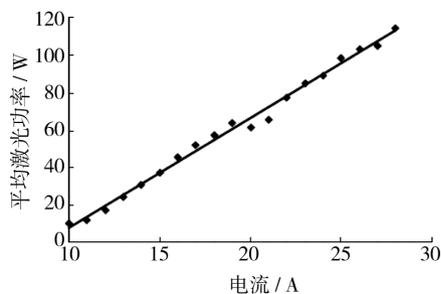


图 1 30 kHz 下电流与平均激光功率的关系

Fig. 1 Lamp current versus average power at 30 kHz for the Maxi Mark III laser

互交替<sup>[4]</sup>, 见图 2。然后, 使用分光光度仪测得油墨和版基的可见/近红外光谱。白色颜料跟塑料底基在  $1.06 \mu\text{m}$  波长下几乎完全反射(93.9%)<sup>[5]</sup>。

### 1.3 激光烧蚀程序

1) 多通道/单线烧蚀。分 3 个步骤使用各个连续通道暴露各层。第 1 个通道暴露青油墨, 第 2 个通道品红油墨, 第 3 个通道黄色油墨。

2) 多通道/大面积烧蚀。每个通道去除一个由激光轨迹构建的正方形材料; 并且, 下个通道的激光



图2 多层油墨样本  
Fig.2 The multilayer ink samples

扫描垂直于上一个通道,以避免由于激光束模式结构形成的烧蚀深度的误差扩大化。实验意在研究大面积烧蚀以及重叠激光轨迹的特征。

## 2 结果

### 2.1 多通道/单线烧蚀

通过多脉冲显现出三色(青,品红,黄),但是品红层呈色较弱,且随着黄色层的部分暴露,很难避免炭化。

首先,选择暴露青色层的最佳操作参数(16 A, 30 kHz, 10 mm/s)进行多通道实验,见表1。1次

表1 流程参数及包含多激光通道的多层系统的一般特征

Tab.1 Process parameters and general characteristics of the multilayer systems involving multiple laser passes

灯电流 /A	频率 /kHz	速度 / (mm · s <sup>-1</sup> )	脉冲数	注解
16	30	10	1	青色细线
16	30	10	2	弱色品红线
16	30	10	3	黄线
16	30	10	4~10	随着脉冲数的增加炭化增强
17	30	10	1	强色青线
17	30	10	2	强而不平的品红线
17	30	10	3	强色黄线
16~18 (0.2 间隔)	30	10	1	提高到 17.6 A 的青线
17.6	30	10	2	白色炭化线
17.6+17	30	10	2	白线

扫描产生青色线,2次产生品红线,3次产生黄线。

当电流增加到 17 A 时,可以提高颜色的强度。对青色线的参数进行分析发现,在电流为 17.6 A 时,

可以产生最厚、最平滑的青色线,但是,在多通道中,增加的激光功率会引起炭化。

多层烧蚀中,任何一点轻微的参数误差都会随着每个通道被放大。虽然在烧蚀青色层时这些误差不会很明显,但随着多通道穿透到下层,这些误差会被放大。

在最佳参数(16 A, 30 kHz, 10 mm/s)下,烧蚀深度与激光通道数之间的关系见图3。随着通道数

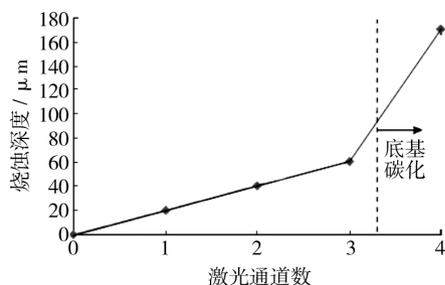


图3 最佳参数(16 A, 30 kHz, 10 mm/s)下烧蚀深度与激光通道数的关系

Fig.3 Relationship between ablation depth and the number of laser passes when using the optimum removal conditions (16 A, 30 kHz and 10 mm s<sup>-1</sup>)

的增加,深度呈线性增加,直到底基开始炭化。在临界点之后斜率的陡然增加,是因为激光已经照射到了底基且开始燃烧底基。

多通道/单线烧蚀光学表面形态见图4,显著的

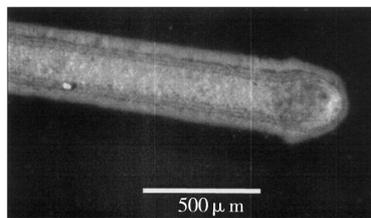


图4 一条成功的烧蚀黄线

Fig.4 A successfully ablated yellow line

特点是在线层上的彩色层部分是可见的,且线的边缘是青、品红和白色条纹带;每一条线的边缘被相对较宽的轻微变色白色油墨带包围。

研究激光轨迹的槽剖面,可以解释沿激光轨迹边缘的多色线条。激光烧蚀产生的倾斜壁见图5,倾斜的槽壁导致沿着激光线边缘可以看到多色带。通过剖面扫描可以进一步确认倾斜深度剖面。

### 2.2 多通道/大面积烧蚀

实验在 10 mm × 10 mm 的正方形材料上进行。

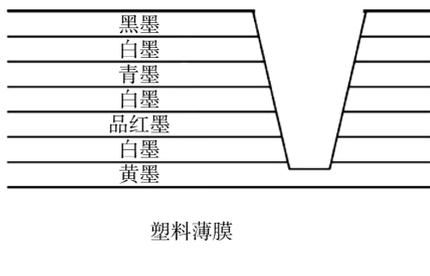


图5 穿透多层油墨版的黄色激光线横截面

Fig. 5 Schematic cross-section of a yellow laser line through the multilayered ink substrate

首先使用生成线的最佳参数在材料表面进行激光逐行扫描。由于光束横截面上不一致的激光功率分布,激光对表面的作用是不规则的,所以,扫描线见图6,每条扫描线是清晰可见的。

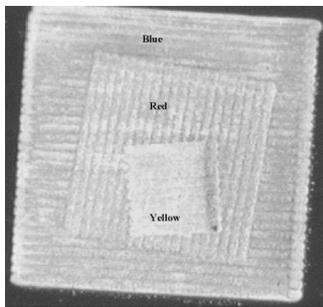


图6 1 cm² 的多层彩色正方形光学图

Fig. 6 An optical photograph of 1 cm² multicolored square

为了减少不规则烧蚀的效应,每个正方形层的扫描都与上一层垂直。最外层是大尺寸的青色正方形,然后是中等尺寸的品红正方形,最后是小尺寸的黄色正方形。激光扫描从外部的青色正方形开始,最后到内部的黄色正方形。

当使用多通道/单线烧蚀参数进行大面积烧蚀时,由于白色层的影响,所以产生的正方形颜色比较弱。可以通过减小电流(导致功率减小)加以改善。减小第2和第3通道扫描电流(最佳的电流是第1个通道 17 A,第2,3通道 15.5 A)。第1个通道扫描输入的热量可能导致在多层系统中堆积,因此减小后续扫描的输入功率是必要的。对于激光束,典型的热穿透深度( $Z$ )由 Carslow and Jaegers 公式<sup>[6]</sup>给出:

$$Z = 2(\alpha t)^{1/2} \quad (1)$$

式中: $\alpha$  是热扩散率( $\text{m}^2/\text{s}$ ); $t$  是作用时间。

材料的表面温度由以下公式给出:

$$T_{(0,t)} = \frac{2\beta I_0}{k} \frac{(\alpha t)^{1/2}}{\pi} \quad (2)$$

其中: $T_{(0,t)}$  是  $t$  时刻材料的表面温度(K); $\beta$  是材料对激光束的吸收率(在 0 和 1 之间,反映了激光能量被吸收的比例); $I_0$  是入射激光功率密度( $\text{W}/\text{cm}^2$ ); $k$  是材料的热传导率( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )。这个公式可以衡量油墨层的剥离。

激光重叠率与深度的关系见图7。实验扫描一

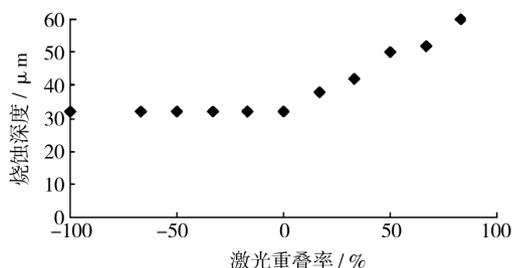


图7 激光重叠率与烧蚀深度的关系

Fig. 7 Relationship between laser-ablation depth and overlap percentage of two laser tracks

组平行线,且平行线逐渐靠近。使用的激光参数是 17 A, 30 kHz 和 10 mm/s。

激光来回扫描一次,产生的深度几乎是一样的,直到 2 条平行线开始重叠,这时深度呈线性增加。最后得出 100% 重叠下,产生的深度( $67 \mu\text{m}$ )是非重叠深度( $32 \mu\text{m}$ )的 2 倍。

### 2.3 颜色分析

颜色分析用来比较激光处理区域的颜色和原来印刷颜色(青、品红和黄),见图 8a-c<sup>[7]</sup>。

分析得出,色相值大致相同,因为色相与颜色主波长相关<sup>[8]</sup>,所以不希望它变化太大。

饱和度和明度值是比较不一致的,它们的变化与含有的颜料量有关。明度值在激光烧蚀后增加,因为表面白色颜料数量增加,白色颜料更具反射性,因此增加了亮度值。在激光烧蚀后饱和度值降低,是因为颜料浓度降低(青、品红和黄),导致颜色的强度下降。

## 3 结论

介绍了基于塑料薄膜油墨激光烧蚀技术的可行性及其基本特征。激光烧蚀可以选择性地暴露不同的墨层,这是个蒸发/分解过程。正方形烧蚀区域可以通过 Nd:YAG 激光每次改变扫描方向顺利生成,

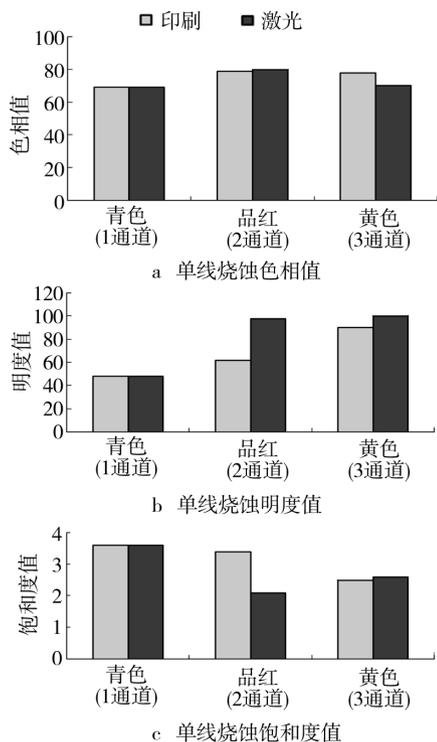


图8 激光烧蚀区域与未处理区域的颜色对比

Fig. 8 Color comparison between laser-ablation tracks and untreated prints

且由于热效应后续的扫描要降低功率。通过激光扫描暴露出来的颜色要比单一印刷的油墨颜色浅。颜色分析表明颜料的基本结构是不变的,因为它仍然反射相同的光波长(也就是拥有一样的色相值),然而每层中的颜料量会有改变。

(上接第93页)

- [5] Specification ICC. 1:2004-10, International Color Consortium.
- [6] 徐艳芳,黄敏,金杨. 基于色度比特性的显示器色度特性化[J]. 液晶与显示,2008,23(6):771-777.  
XU Yan-fang, HUANG Min, JIN Yang. Characterization of Monitors Based on Colorimetric Ratios[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2008, 23(6): 771-777.
- [7] KATOH N G, DEGUCHI T, BENS R. An Accurate Characterization of CRT Monitor (I) Verifications of Past Studies and Clarification of Gamma[J]. Optical Review, 2001, 8(5): 305-314.
- [8] KATOH N G, DEGUCHI T, BENS R. An Accurate Characterization of CRT Monitor (II) Proposal for an

## 参考文献:

- [1] 龚晔,张逸新,王凯. 微结构加网防伪应用[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 62-63.  
GONG Ye, ZHANG Yi-xin, WANG Kai. Anti-counterfeiting of Microstructure Screens[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 62-63.
- [2] SIANO S. Cleaning Processes of Encrusted Marbles by Nd: YAG Lasers Operating in Free-running and Q-switching Regimes[J]. Appl Opt, 1997, 36(27): 7073-7082.
- [3] LIU K, GARMIRE E. Paint Removal Using Lasers[J]. Appl Opt 1995; 34(21): 532-538.
- [4] PHILLIPS R W, BLEIKOLM A F. Optical Coatings for Document Security[J]. Appl Opt, 1996, 33(28): 5529-5534.
- [5] DOBROWOLSKI J A. Research on Thin Film Anti-counterfeiting Coatings at the National Research Council of Canada [J]. Appl Opt, 1989, 28(14): 2702-2718.
- [6] CARSLAW, JAEGER. Conduction of Heat in Solids[M]. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1959.
- [7] 刘振,张逸新. 塑料包装印刷品色彩再现规律研究[J]. 包装工程, 2007, 28(5): 18-20.  
LIU Zhen, ZHANG Yi-xin. Research on Color Reproduction Performance of Printed Plastic Package[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5): 18-20.
- [8] 刘武辉,胡更生,王琦. 印刷色彩学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.  
LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Printing Color Science[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- Extension to CIE Method and Its Verification[J]. Optical Review, 2001, 8(5): 397-408.
- [9] 陈路,李小东. 基于BP神经网络的CMY到XYZ颜色空间转换算法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 63-64.  
CHEN Lu, LI Xiao-dong. Research of Algorithm Transforming CMY to XYZ Color Space Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 63-64.
- [10] 戴仲义,钱军浩. 虚拟打样的BP神经网络[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 84-86.  
DAI Zhong-yi, QIAN Jun-hao. A BP Neural Network Model of Virtual Proofing[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 84-86.