

喷墨印刷工艺对导电墨水导电性能的影响

屈贞财

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 研究喷墨印刷工艺对导电墨水导电性能的影响。 **方法** 以EPSON 1390万能平板打印机为输出设备,选取塑料薄膜种类、打印分辨率、打印次数、电路形状为主要工艺指标,运用单因素实验法,测试不同指标作用下各印刷线路的单位电阻值。 **结果** 塑料薄膜的表面分子结构对墨水的导电性能有直接影响,表面张力高的塑料有利于获得较好的印刷效果,导电性会得到提高;较高的打印分辨率有利于提高墨层的连接精度,从而提高导电性;适当增加打印次数有利于形成清晰完整的印刷电路,可以降低平均电阻值;印刷电子线路形状不同,导电性能也不尽相同,导电性能顺序为直线型>折线型>矩形波型>环型。 **结论** 喷墨印刷工艺对导电墨水的导电性能具有一定的影响,选择合适的印刷工艺有利于提高导电线路的导电性。

关键词: 喷墨印刷; 导电墨水; 电路形状; 单位电阻值

中图分类号: TS853^{+.5} **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)09-0152-04

Effect of Ink-jet Printing Process on Conductive Properties in Conductive Ink

QU Zhen-cai

(Henan University of Animal Husbandry & Economy, Zhengzhou 450046)

ABSTRACT: This work aimed to study the effect of ink-jet printing process on the conductive properties of conductive ink. Based on EPSON 1390 universal plate printer, the plastic type, print resolution, printing times, printed circuit shape were selected as the main process indicators. Single factor experiments were used to test the resistance values of the printed circuit under conditions of different factors. The molecular structure of the surface of plastic film had a direct effect on the ink conductivity, and the conductivity was improved by the plastics with higher surface tension, as it could obtain good print results. The connection precision of the ink layer was improved through higher printing resolution, thereby the conductivity was increased. The average resistance was reduced by increasing the printing times, which was beneficial to the formation of clear and complete printed circuit. The printed electronic circuit with different shapes did not have the same conductivity, and the order of electrical conductivity was: straight type > broken line > rectangular wave pattern > ring. Ink-jet printing technology had a certain effect on the conductivity of conductive ink, and the appropriate printing process would help improve the electrical conductivity of the conductive circuit.

KEY WORDS: ink-jet printing; conductivity ink; circuit shape; unit resistance

随着印刷技术和电子科技的迅猛发展,由印刷技术和电子技术相结合产生的印刷电子技术逐渐受到人们的广泛关注。传统的PCB电路板、薄膜开关、FRID标签、柔性显示器等产品,其生产方式已被印刷方式所取代,极大地提高了生产效率,降低了环境污

染^[1-3]。目前,印刷电子主要采用印刷的方式将导电油墨印制在绝缘的承印材料上,并形成导电回路,制成电子器件^[4-6]。不同的印刷工艺对导电油墨的性能有着不同的影响。当前应用较为成熟的印刷方式有丝网印刷、凹版印刷、胶版印刷以及喷墨打印等技术,由

收稿日期: 2015-08-10

基金项目: 河南省2014年科技攻关项目(142102210441)

作者简介: 屈贞财(1986—),男,陕西汉中,人,硕士,河南牧业经济学院讲师,主要研究方向为印刷包装材料和工艺。

于喷墨打印技术相对其他印刷方式具有环保、高效、优质等特点,成为印制电子领域的研究热点^[7-10]。这里以EPSON 1390 万能平板打印机为输出设备,将纳米银喷墨导电墨水分别印刷在PA,PET和PE薄膜上,采用单因素实验法,通过改变塑料薄膜种类、打印分辨率、打印次数以及印刷电子线路的形状,测试不同因素作用下各印刷线路的单位电阻值,为喷墨电子技术的发展提供一定的参考数据。

1 实验部分

1.1 实验器材

仪器:EPSON 1390 万能平板打印机,EPSON(中国)有限公司;达因笔,英国舒曼达因笔有限公司;新型数字万能表(UT39B),香港优利德集团有限公司;电晕机(QF-8008),福建泉州市泉方电子科技有限公司。

材料:纳米银喷墨导电墨水(细度为30 nm,黏度为2~5 cP,固含量为10~15%,附着力大于4 B),北京中科纳通电子科技有限公司;0.1 mm PA 薄膜,0.1 mm PET 薄膜,0.1 mm PE 薄膜,珠海市乐通化工股份有限公司。

1.2 实验方法及步骤

1) 塑料薄膜表面处理^[11-12]:分别将0.1 mm厚的PA 薄膜、PET 薄膜和PE 薄膜置于电晕机中进行电晕处理,用达因笔测试各种薄膜的表面张力值,待PA 薄膜表面张力大于56 dyn/cm,PET 薄膜表面张力大于52 dyn/cm,PE 薄膜表面张力大于38 dyn/cm时,取下备用。

2) 喷墨打印实验^[13-14]:以EPSON 1390 万能平板打印机为输出设备,按要求将PA 薄膜、PET 薄膜、PE 薄膜置于打印台上,在设置分辨率为720×720 dpi,1440×720 dpi 和2880×1440 dpi 的条件下,打印输出不同形状的电子线路。

3) 导电性能检测^[15-18]:用万能表测量各电子线路的电阻,然后用测得的电阻值除以测量长度就得到电子线路的单位电阻,以电子线路的单位电阻大小作为油墨导电性能的衡量指标,单位电阻值越小,导电性越好。

2 实验过程与分析

2.1 塑料薄膜种类对喷墨导电墨水性能的影响

因塑料材质表面结构平整,印刷中难以获得较好

的附着力,在实际的工业生产中印刷质量难以控制,因此这里选取具有不同表面张力的塑料薄膜为研究对象,以EPSON 1390 万能平板打印机为输出设备,设定打印分辨率为1440×720 dpi,分别向PA 薄膜、PET 薄膜和PE 薄膜打印直线线条,测试其平均电阻值,结果见图1。

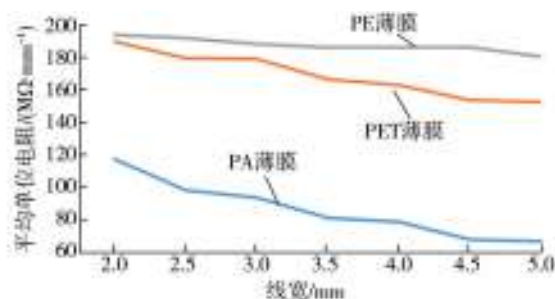


图1 不同承印材料下导电线条的平均电阻值

Fig.1 The average resistance under different substrate type

由图1可知,在其他条件不变的情况下,不同的塑料薄膜具有不同的导电性能,其中PA 薄膜导电线条的平均电阻值最小,PET 薄膜次之,PE 薄膜导电线条的平均电阻值较大。这是因为3种塑料薄膜的表面张力大小不同,表面张力顺序为PA>PET>PE,较高的表面张力有利于获得高附着力,从而吸附更多的导电填料,电导率小,单位电阻值也会变小。同时,随着墨层线宽的增加,电子线路的电阻值逐渐下降,这与电阻值计算公式相符合。

2.2 打印分辨率对喷墨导电墨水性能的影响

设定打印分辨率为720×720 dpi,1440×720 dpi 和2880×1440 dpi,对PA 薄膜进行打印输出,研究不同分辨率对墨水导电性能的影响,结果见图2。

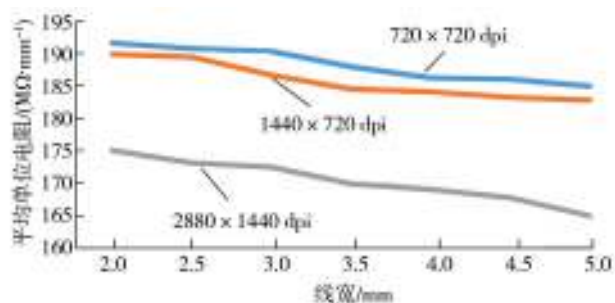


图2 不同打印分辨率下导电线条的平均电阻值

Fig.2 The average resistance under different printing resolution

由图2可知,随着打印机分辨率的提高,导电线条的平均电阻值逐渐下降,可见提高打印机的分辨率有利于降低导电线条的平均电阻,从而提高膜层的导电性。打印分辨率决定了输出图像的精细程度,喷墨打

印的墨滴直径非常小,越高的分辨率会使墨滴结合得更均匀致密,有利于电子回路的形成,促进了纳米银粉的接触面积,因而会降低平均电阻值。

2.3 打印次数对喷墨导电墨水性能的影响

喷墨打印存在海绵吸附作用,因此往往打印出来的线路会印迹发虚,尤其对于喷墨导电墨水,不仅影响油墨的导电性,还会影响图案的视觉效果。通常的解决方法是多次打印,以获得足够的导电性。实验以EPSON 1390 万能平板打印机为输出设备,以PA 薄膜为承印材料,设置分辨率为 2880×1440 dpi,打印5 mm 宽的直线条,研究打印次数对导电墨水性能的影响,结果见图3。

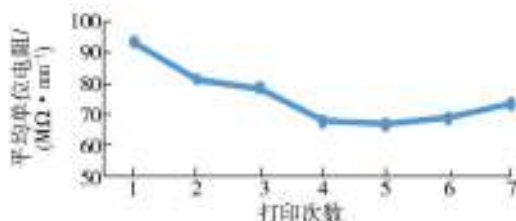


图3 不同打印次数下导电线条的平均电阻值

Fig.3 The average resistance under different printing times

由图3可知,随着打印次数的提高,导电线条的平均电阻值呈先下降后上升的趋势,当打印次数为5时,导电线条的电阻值降低到最小,随后进一步增加打印次数,导电线条的平均电阻值反而会上升。这是因为刚开始时,增加打印次数,有利于形成清晰完整的导电线条,增加了膜层的厚度,促进了导电填料的相互接触,所以会降低电阻值。当打印次数持续增加后,墨水中的树脂也会增多,过多的树脂又会阻碍导电填料的接触,因此平均电阻值会变大。为获得最佳的导电性,打印次数一般设置5次为宜。

2.4 电路形状对喷墨导电墨水性能的影响

电子器件的线路形状不同,也会对膜层的导电性产生影响。实验将不同电子线路形状图案印刷在PA 薄膜上,结果见图4。

用新型数字万能表UT39B测试5 mm 线宽下不同导电路径形状的电子线路的单位电阻,以数字1,2,3,4 分别表示环型、直线、折线、矩形波图案的电阻值,结果见图5。

由图5可知,印刷膜层的导电性能随导电路径形状的不同而发生变化,图5表明,平均电阻值的顺序为环型>矩形波型>折线型>直线型。这是因为导电路径的形状会影响导电回路的连通情况,线路的拐



图4 不同形状的电子线路印刷图

Fig.4 Printed electronic circuit with different shapes

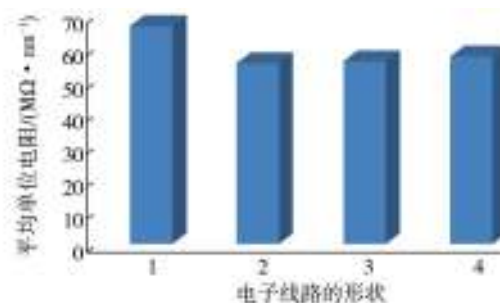


图5 不同形状的电子线路的平均单位电阻值

Fig.5 The average resistance under different shape

角处容易形成墨孔现象,从而阻碍电路的流通,因此会影响电路的电阻值。

3 结语

喷墨印刷工艺对喷墨导电墨水的导电性具有重要影响。对于塑料类柔性基材,较高的表面张力可获得较高的附着力,从而使膜层结合更紧密,有利于提高导电性。打印分辨率通过控制墨滴的再现精度影响导电填料的接触程度,分辨率越高,网点成像越清楚,导电填料间的接触就越紧密,导电性就越好。适宜的打印次数可以使图像清晰完整,克服了当前喷墨打印设备存在海绵吸附的问题,有利于获得较好的打印效果,从而提升油墨的导电性。导电路径的形状影响导电回路的连接性,连接较少的导电路径会减少薄膜内断层现象,促进电路的流通,对提高导电性有利。总之,在实际的喷墨印刷导电油墨中,也需要对影响印刷质量的各因素加以控制,以获得较好的印刷效果,为提高油墨的导电性打下基础。

参考文献:

- [1] 唐宝玲,陈广学,陈奇峰,等. 纳米银导电油墨的研制[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(1):358—361.
TANG Bao-ling, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng. Rease-

- arch and Manufacture of Nano-silver Conductive Ink[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(1): 358—361.
- [2] 辛秀兰, 魏亚娜. 水性油墨的研究进展[J]. 中国印刷与包装研究, 2011, 3(3): 1—8.
- XIN Xiu-lan, WEI Ya-na. Research Progress of Water-Based Ink[J]. China Printing and Packaging Study, 2011, 3(3): 1—8.
- [3] LEE K J, JUN B H, LEE Y L, et al. Metal Nanoparticles and Method for Producing the Same[P]. US: 20070018140, 2007—05—20.
- [4] 曹丽娜, 钱军浩. 导电油墨厚度对RFID标签天线辐射效率的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 122—125.
- CAO Li-na, QIAN Jun-hao. Influence of Conductive Ink Thickness on Radiation Efficiency of RFID Tag Antenna[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 122—125.
- [5] 潘光华, 李云, 李彬胜, 等. 导电油墨在包装防伪印刷中的应用研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 130—134.
- PAN Guang-hua, LI Yun, LI Bin-sheng, et al. Application Research on Electrically Conductive Ink for Anti-counterfeit Package Printing[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 130—134.
- [6] 付吉灿, 周奕华, 魏伟, 等. 分散剂含量对碳系导电油墨导电性能影响的研究[J]. 包装工程, 2014, 35(21): 118—122.
- FU Ji-can, ZHOU Yi-hua, WEI Wei, et al. Effects of Dispersant Content on the Conductivity of Carbon Conductive Ink[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 118—122.
- [7] 张国锋, 王君涵, 魏安娜. 新型水性导电油墨的制备与性能研究[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 92—94.
- ZHANG Guo-feng, WANG Jun-han, WEI An-na. Preparation and Property Research of New Type of Water-based Conductive Ink[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21): 92—94.
- [8] ZHAI D D, ZHANG T Y, GUO J B, et al. Water-based Ultraviolet Curable Conductive Inkjet Ink Containing Silver Nano-Colloids for Flexible Electronics[J]. Colloids & Surfaces Physicochemical and Engineering Aspects, 2013(17): 1—9.
- [9] 陈海生, 屈贞财, 官燕燕, 等. 用于水性导电油墨的纳米银分散液的制备[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 102—104.
- CHEN Hai-sheng, QU Zhen-cai, GUAN Yan-yan, et al. Preparation of Nano-silver Dispersions for Water-based Conductive Ink[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 102—104.
- [10] CHERRINGTON M, CLAYPOLE T. Ultrafast Near-infrared Sintering of a Slot-die Coated Nano-silver Conducting Ink[J]. Journal of Materials Chemistry, 2011(21): 62—64.
- [11] MAGDASSI S, GROUCHKO M, BEREZIN O, et al. Triggering the Sintering of Silver Nanoparticles at Room Temperature[J]. American Chemical Society, 2010, 4(4): 1943—1948.
- [12] KOSMALA A, WRIGHT R, ZHANG Q, et al. Synthesis of Silver Nano Particles and Fabrication of Aqueous Ag Inks for Inkjet Printing[J]. Materials Chemistry and Physics, 2011(3): 1075—1080.
- [13] TANG B L, CHEN G X, CHEN Q F, et al. Research and Manufacture of Nano-Silver Conductive Ink[J]. Advanced Materials Research, 2011(4): 405—408.
- [14] YONG S, KIM C H, SHIN D Y, et al. Printed UHF RFID Antennas with High Efficiencies Using Nano-Particle Silver Ink[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2011, 11(7): 425—428.
- [15] LI W W, MO L X, FU J L, et al. Preparation of Water-Based Nano-Silver Gravure Conductive Ink Used for Printed Electronics[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(2): 523—526.
- [16] FU J L, LI Y L, MO L X, et al. Preparation of Conductive Nano Silver Ink and Its Application on RFID Tags[J]. Advanced Materials Research, 2011(4): 121—125.
- [17] NIE X L, WANG H, ZOU J. Inkjet Printing of Silver Citrate Conductive Ink on PET Substrate[J]. Applied Surface Science, 2012, 261(8): 554—560.
- [18] LI W W, MO L X, FU J L. Influence of Post-Processing Methods on the Conductive Properties of Nano-silver Conductive Ink[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(9): 115—118.
-
- (上接第133页)
- 7044—7052.
- [30] LIN L, CHU Y S, THIERY J P, et al. Microfluidic Cell Trap Array for Controlled Positioning of Single Cells on Adhesive Micropatterns[J]. Lab on A Chip, 2013, 13(4): 714—721.
- [31] SCHOENDUBE J, YUSOF A, KALKANDJIEV K, et al. Wafer Level Fabrication of Single Cell Dispenser Chips with Integrated Electrodes for Particle Detection[J]. Journal of Micro-mechanics and Microengineering, 2015, 25(2): 960—1317.
- [32] YAMAGUCHI S, UENO A, AKIYAMA Y, et al. Cell Patterning through Inkjet Printing of One Cell Per Droplet[J]. Biofabrication, 2012(12): 1—9.
- [33] ATALA A. Tissue Engineering and Regenerative Medicine: Concepts for Clinical Application[J]. Rejuvenation Research, 2004, 7(1): 15—31.
- [34] UDDIN M, SCOUTARIS N, KLEPETSANIS P, et al. Inkjet Printing of Transdermal Microneedles for the Delivery of Anticancer Agents[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2015(1): 1—10.
- [35] XU T, GREGORY C, MOLNAR P, et al. Viability and Electrophysiology of Neural Cell Structures Generated by the Inkjet Printing Method[J]. Biomaterials, 2007, 27(19): 3580—3588.