

## 微球物理发泡油墨的丝网印刷效果及特性

陈姝颖, 孙志成, 李路海, 张梦宇, 朱文佳, 李东升  
(北京印刷学院 北京市印刷电子工程技术研究中心, 北京 102600)

**摘要:** **目的** 考察物理发泡微球的油墨化及印刷效果。**方法** 将热膨胀型微胶囊按一定比例配制得到物理发泡油墨, 采用丝网印刷的工艺, 将发泡油墨转移至无纺布、铜版纸、铝箔纸这3种承印基材上。通过扫描电镜、厚度计和分光光度计分别测量发泡前后样品的形貌、厚度和色度变化。对印品发泡高度与承印基材之间的关系、发泡高度随温度的变化规律、油墨发泡前后的色彩特性进行研究。**结果** 印刷在无纺布的发泡体的高度较大, 且套印2次后发泡体的厚度具有显著的变化。微球的最大发泡温度为150℃左右。青色油墨发泡前后的色差为14.49, 发泡后的印品饱和度增加、明度值增加、色相基本不变。**结论** 微球发泡油墨可以在柔性基材上获得浮雕式的立体油墨图案和高饱和度的色彩效果。

**关键词:** 热膨胀型微胶囊; 发泡油墨; 丝网印刷; 印品检测

**中图分类号:** TS802.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)01-0051-04

### Screen Printing Effects and Characteristics of Microsphere Physical Foaming Ink

CHEN Shu-ying, SUN Zhi-cheng, LI Lu-hai, ZHANG Meng-yu, ZHU Wen-jia, LI Dong-sheng  
(Beijing Engineering Research Center of Printed Electronics, Beijing Institute of Graphic Communication,  
Beijing 102600, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study deinking and printing effects of physical foaming microsphere. The physical foaming ink was prepared in proportion to thermally expandable microcapsules. The ink was transferred to three kinds of printing substrates, including non-woven fabric, coated paper and aluminized foil paper by screen printing. The shape, thickness and colour change of the sample before and after foaming were measured by scanning electron microscope, thickness meter and spectrophotometer. The relationship between the foaming height of printing products and printing substrates, the foaming height variation with the temperature, and the colour characteristics before or after ink foaming were investigated. The foam printed on the nonwoven fabric was relatively high. After overprinting twice, the thickness after foaming was significantly changed compared to that before the printing. The maximum foaming temperature of the microsphere was about 150 °C. The colour difference of the cyan ink was 14.49 before and after foaming. The printing saturation and brightness value increased, but the hue was basically unchanged after foaming. The microsphere foaming ink can be printed on the flexible substrate and obtain an embossed three-dimensional ink pattern and a high-saturation colour effect.

**KEY WORDS:** thermally expandable microcapsule; foaming ink; screen printing; printing detection

物理发泡油墨的主要功能性组分是热膨胀型微胶囊, 其具有质轻、低毒、环保的特点。热膨胀型微胶囊的外壳为热塑性聚合物, 内部通常包覆低沸点有

机溶剂, 当微胶囊受热时囊心材料(低沸点有机溶剂)迅速汽化产生内压力, 同时壁材受热软化, 在内压力的作用下, 壁材膨胀, 体积增大发泡, 密度降低, 从

收稿日期: 2016-07-14

基金项目: 国家自然科学基金(21646013); 北京市自然科学基金(2152012); “北印英才”项目(27170116004/020); 北京印刷学院校级重点项目; 北京市教委绿色印刷与出版技术2011协同创新专项(km201410005007)

作者简介: 陈姝颖(1992—), 女, 北京印刷学院硕士生, 主攻功能材料研究。

通讯作者: 孙志成(1980—), 男, 博士, 北京印刷学院副教授, 主要研究方向为功能材料。

原来的  $1100 \text{ kg/m}^3$  降到  $30 \text{ kg/m}^3$ 。一般来说,膨胀后其直径增大到原来的数倍,体积则增大到原来的几十倍甚至上百倍,膨胀后的微胶囊具有相对的形态稳定性,冷却后不回缩<sup>[1-4]</sup>。热膨胀型微胶囊因其独特的发泡性能,在轻工业领域得到了广泛的应用,特别是在墙纸、印刷油墨<sup>[5]</sup>、立体印花、微流体<sup>[6]</sup>、胶黏剂<sup>[7-8]</sup>和汽车抗冲击涂层等领域。

物理发泡油墨印刷是指在纸张、塑料、皮革、纺织品等承印物上,利用特殊处理的微球发泡油墨进行印刷,经过加热处理,印刷图案就会随着墨膜发泡凸起,自然冷却后形成浮凸的立体图文。这是一种不依靠凹凸压印和雕刻凹版印刷而使图案形成凹凸立体感的独特印刷方式<sup>[9-10]</sup>。微球物理发泡油墨的主要组成<sup>[11-13]</sup>(以质量分数计)为:丙烯酸酯类和其他树脂共聚物(60%)、发泡微球(20%)、尿素(5%)、色浆(10%)和其他成分(5%)。采用微球发泡油墨印刷得到的图案,通过稳定处理后会呈现出刺绣或植绒般的艺术效果,因此在织物印花和工艺品装潢方面,格外受到青睐<sup>[9, 14]</sup>。尽管发泡油墨印刷可以得到三维效果,但发泡控制精度要求较高,通常难以准确地复制出图像的细微层次,容易出现油墨固化后边缘不清晰、不规则的问题<sup>[15]</sup>,因此,非常有必要对发泡油墨的印刷特性进行系统的分析,以便更好地提高发泡印刷品的质量。文中主要采用丝网印刷的工艺,将制备得到的热膨胀型微胶囊按一定的比例配制发泡油墨,并在不同柔性基材上进行印刷应用,对印品发泡前后的印刷质量及色彩特性进行研究。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料:热膨胀型微胶囊,实验室自制;铝箔纸,温州龙港伟盛铝箔材料有限公司;无纺布,广州市科纶实业有限公司;丝印油墨(1200系列)、丝印溶剂(1200系列)、开孔剂,无锡市胡棣油墨有限公司。

主要仪器:集热式恒温加速磁力搅拌器,DF-101S,北京瑞成伟业仪器设备有限公司;恒速自动搅拌器,D2004,上海志威电器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,DHG-9070A,上海一恒科学仪器有限公司;电热板,PB-3,常州国华电器有限公司;丝印版,100目,北京英迈印刷机械有限公司;丝网印刷打样机,OS-500FB,中国欧莱特印刷机械工业有限公司。

### 1.2 发泡油墨的印刷

将丝印油墨、粘合剂、发泡微胶囊、表面活性剂等依次倒入烧杯中,用机械搅拌器充分搅拌,得到发

泡油墨。对不同厂家、不同规格的铜版纸、铝箔纸和无纺布进行耐高温实验,筛选出可以承受一定高温的基材,用丝网印刷机在这3种不同基材上印刷发泡油墨,在烘箱中  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  预加热 10 min,用加热板  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  加热 1 min,得到具有立体效果的样品。

### 1.3 样品的性能及表征

利用日本 HITACHI 公司 SU8020 扫描电子显微镜进行丝印打样样条的形貌分析,厚度用厚度计测定,色度值采用美国 X-rite 分光光度计测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 油墨发泡体高度与承印基材表面的关系

发泡油墨印刷在不同材料上加热前后的形貌变化见图1,可以看出,微球被油墨转移至基材后,与基材的附着性良好,经过  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  加热处理后,微球开始发泡,直径明显变大,油墨厚度也随之增高,从而获得立体印刷的生动图像。相对于铝箔纸和铜版纸这2种承印材料来说,无纺布的纹理表面较为粗糙,孔隙率大,导致发泡后油墨的均匀性和平面性效果受到一定影响。

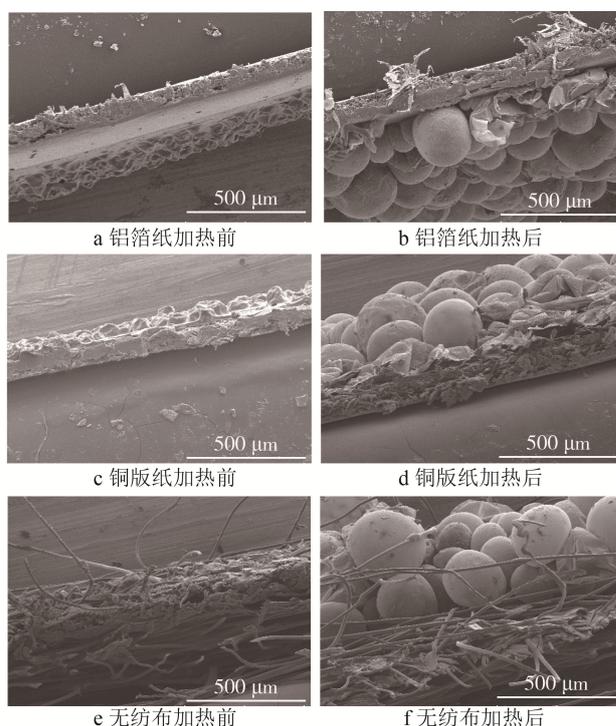


图1 发泡油墨印刷在不同材料上加热前后的扫描电镜  
Fig.1 SEM images of foaming ink printed on different materials before and after heating

将发泡印刷扩展到纸张、织物、皮革等多种承印材料上,经过相同条件的加热处理后,发现由于基材自身的形貌和表面特性不同,会出现不同承印材料表面的油墨发泡体高度不同的现象。微球的粒径和发泡

膨胀倍率不均匀，也会使油墨发泡体的高度起伏较大。不同基材的印品发泡前后的厚度变化见图 2，可以看出，无纺布发泡前后的厚度明显高于铝箔纸和铜版纸，而且 2 次套印后，发泡体的厚度比未发泡的厚度有明显增加。尤其是采用无纺布印刷时，发泡的立体效果更为明显，主要是因为无纺布自身的纤维空隙大、表面纹理不均匀，导致部分油墨渗入孔内，因此油墨发泡体的高度有所增加，而铜版纸和铝箔纸表面光滑，发泡体高度反而相对减小。

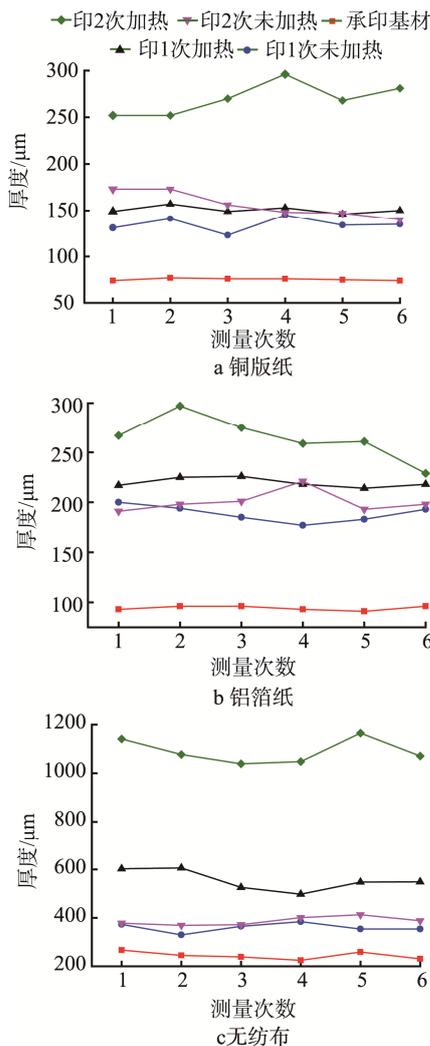


图 2 不同基材的印品发泡前后的厚度变化

Fig.2 Thickness changes of foaming ink printed on different substrates

### 2.2 印品发泡高度与发泡温度的关系

在 3 种不同的基材上印刷发泡油墨，发泡温度对发泡体高度的影响都是很明显的，并且变化的趋势相同。在铜版纸上印刷的样品发泡高度随发泡温度的变化情况见图 3，发泡的起始温度为 100 °C 左右，当温度低于 150 °C 时，随着温度的升高，微球内的有机溶剂汽化产生内压力，促使微球囊壁膨胀，体积增加，微球发泡体的高度随温度的上升而增加。当温度升至

150 °C 时，微球膨胀到极限，发泡体高度达到最高，此时即最大发泡温度。如果温度继续升高，微球囊壁会变得较为薄弱，会有部分芯材有机溶剂透过囊壁而逸出微球，导致微球内部压力降低，在外界大气压的作用下，微球反而会出现体积减小的现象，发泡体高度有所下降。当温度高于 170 °C 时，芯材全部逸出微球，微球基本保持恒定体积的状态。由此，可以通过有效地调节温度来控制发泡体的高度。

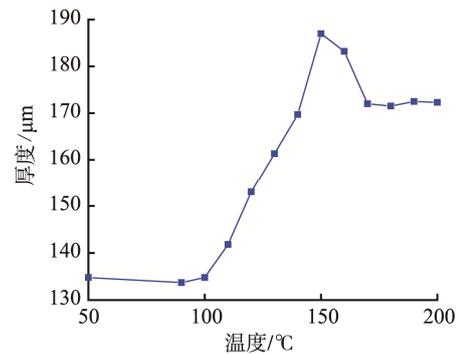


图 3 发泡温度-高度曲线

Fig.3 Foaming temperature-thickness curve

### 2.3 发泡油墨的显色特性

用分光光度计测量发泡前后的色度值以及  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值，见表 1，并绘制在 CIE 1931 色度标尺图上，见图 4，其中  $x$  轴色度坐标相当于红基色的比例， $y$  轴色度坐标相当于绿基色的比例，同一青色样发泡前后的色度点基本上处在同一条直线上，说明两者的色相未变或变化甚微，色样发泡前比发泡后的色度点更靠近光源的色度点，说明发泡后比发泡前的饱和度有所提高。

表 1 蓝色色样的色度值  
Tab.1 Chrominance value of cyan sample

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$
未加热	17.49	4.87	-22.91	23.43
加热	29.23	-3.27	-25.39	25.62

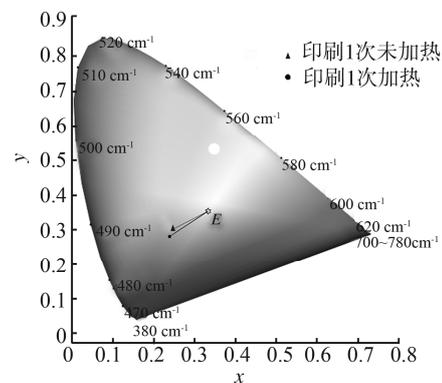


图 4 青色色样的 CIE 1931 色度标尺

Fig.4 CIE 1931 chromaticity scale diagram of cyan sample

由色差公式得到  $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{-1} = 14.49$ , 通常认为色差在 6~12 之间时, 视觉的色彩差别属强烈, 当色差大于 12 时, 则为很强烈<sup>[16]</sup>, 因此, 发泡前后的色差是很强烈的。此外, 通过对比加热前后的明度差  $L^*$ , 可知发泡后的明度值较发泡前增加了 11.74。

### 3 结语

采用丝网印刷的工艺, 将制备的热膨胀型微胶囊按一定的比例配制得到物理发泡型油墨, 将其丝印在无纺布、铜版纸、铝箔纸这 3 种承印基材上, 对印品发泡高度、温度变化效果及色彩显色特性等进行了研究。结果表明, 无纺布与其他 2 种承印材料相比, 表面粗糙, 孔隙率大, 发泡体的高度较大, 且套印 2 次后发泡厚度比发泡前的厚度增大了 3 倍。微球的最大发泡温度为 150 °C, 当发泡温度高于 170 °C 时, 微球的体积基本不再发生改变。采用青色油墨印刷后, 发泡前后的色差为 14.49, 视觉的色彩差别十分强烈, 发泡后的印品饱和度值较发泡前增加了 2.19, 明度值较发泡前增加了 11.74, 色相则基本不变。

#### 参考文献:

- [1] FREDLUND J. Synthesis of Thermo Expandable Microspheres[D]. Sweden: Master of Science Thesis Sundsvall, 2011.
- [2] HOU Z S, KAN C Y. Preparation and Properties of Thermoexpandable Polymeric Microspheres[J]. Chinese Chemical Letters, 2014, 25(9): 1279—1281.
- [3] JONSSON M, NORDIN O, KRON A L, et al. Thermally Expandable Microspheres with Excellent Expansion Characteristics at High Temperature[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 117(1): 384—392.
- [4] FUJINO M, TANIGUCHI T, KAWAGUCHI Y, et al. Mathematical Models and Numerical Simulations of a Thermally Expandable Microballoon for Plastic Foaming[J]. Chemical Engineering Science, 2013, 104(5): 220—227.
- [5] URBAS R, ELESINI U S. Color Differences and Perceptive Properties of Prints Made with Microcapsules[J]. Journal of Graphic Engineering and Design, 2015, 6(1): 15.
- [6] JEONG J W, MCCALL J G, SHIN G, et al. Wireless Optofluidic Systems for Programmable in Vivo Pharmacology and Optogenetics[J]. Cell, 2015, 162(3): 662—674.
- [7] BANE A M D, SILVA L F M, CARBAS R J C, et al. Mechanical and Thermal Characterization of a Structural Polyurethane Adhesive Modified with Thermally Expandable Particles[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2014(4): 191—199.
- [8] BANE A M D, SILVA L F M, CARBAS R J C. Debonding on Command of Adhesive Joints for the Automotive Industry[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2015(9): 14—20.
- [9] 闵耀霞. 三维立体丝网印花[J]. 网印工业, 2011(2): 12—15.  
MIN Yao-xia. Three-dimensional Screen Printing[J]. Screen Printing Industry, 2011(2): 12—15.
- [10] 张红路. 特效油墨——特殊效果的应用[J]. 网印工业, 2011(2): 16—20.  
ZHANG Hong-lu. Special Effect Inks: Application of Special Effects[J]. Screen Printing Industry, 2011(2): 16—20.
- [11] 曹瑞春, 孟迪. 发泡油墨与网印工艺[J]. 丝网印刷, 2011(7): 14—16.  
CAO Rui-chun, MENG Di. Foaming Ink and Screen Printing Process[J]. Screen Printing, 2011(7): 14—16.
- [12] 胡建. 发泡热固油墨的组成及特点[J]. 丝网印刷, 2012(4): 33—35.  
HU Jian. Composition and Characteristics of Foamed Thermosetting Ink[J]. Screen Printing, 2012(4): 33—35.
- [13] 周震. 印刷油墨[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
ZHOU Zhen. Printing Ink[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [14] 黄天甫. 发泡油墨的印刷特性[J]. 中国印刷, 1994, 12(4): 34—38.  
HUANG Tian-fu. Printing Characteristics of Foaming Ink[J]. China Print, 1994, 12(4): 34—38.
- [15] 李予. 微球发泡油墨印刷的质量控制[J]. 印刷世界, 2011(9): 42—46.  
LI Yu. Quality Control of Microsphere Foaming Ink Printing[J]. Print World, 2011(9): 42—46.
- [16] 刘武辉, 胡更生, 王琪. 印刷色彩学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.  
LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Graphic Arts Chromatology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.