

喷墨打印基材表面纳米涂层的研究进展

刘亚男, 张平平, 孙志勇, 赵鹏飞, 刘晓丽, 欧阳芸, 褚庭亮
(中国印刷科学技术研究院, 北京, 100036)

摘要: **目的** 综述了目前喷墨打印基材表面纳米涂层的研究成果和发展趋势。**方法** 基于对近年国内外关于表面纳米涂层的研究成果, 介绍喷墨打印表面纳米涂层的组成、固化机理及其物化性能和光学性能, 进一步对喷墨打印涂层的发展趋势及挑战进行总结与分析。**结果** 表面纳米涂层能够改变材料及其制件表面的物理结构和化学组成。在喷墨打印过程中, 喷墨打印基材表面纳米涂层质量直接影响印品的质量, 文中通过对喷墨打印纳米涂层的性能、研究现状、发展趋势及挑战等方面的论述, 为未来的喷墨打印纳米涂层相关研究和应用提出了建议。**结论** 喷墨打印技术作为数字成像技术的典型代表, 可实现印刷品的种类多样化、个性化, 想要得到复制完美的制品, 需优化基材表面的化学组成或物理结构, 而表面涂层技术能够改变材料及其制件表面成分和组织结构, 所以对喷墨打印基材表面纳米涂层的研究至关重要。

关键词: 喷墨打印; 基材; 表面涂层

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)07-0209-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.07.038

Research Progress of Nano-coating on Substrate for Ink-jet Printing

LIU Ya-nan, ZHANG Ping-ping, SUN Zhi-yong, ZHAO Peng-fei,
LIU Xiao-li, OUYANG Yun, CHU Ting-liang
(China Academy of Printing Technology, Beijing 100036, China)

ABSTRACT: The work aims to review the current research achievements and development trend of nano-coating on the substrate for ink-jet printing. The composition, curing mechanism, physico-chemical properties and optical performance of nano-coating on the surface for ink-jet printing were introduced based on the research achievements of surface nano-coating at home and abroad in recent years. Furthermore, the development trend and challenge of nano-coating for ink-jet printing were summarized and analyzed. The surface nano-coating could change the physical structure and chemical composition of surfaces of the material and its products. In the process of ink-jet printing, the quality of nano-coating on the surface of substrate for ink-jet printing directly affected the quality of prints. The discussion of performance, research status, development trend, challenge and other aspects of the nano-coating for ink-jet printing herein provided suggestions on the relevant researches and applications of nano-coating for ink-jet printing. Inkjet printing, as a typical digital imaging technology, can achieve the products with personalized and diversified images. To obtain perfectly reproduced product, the chemical composition or physical structure of the substrate surface should be optimized. The surface composition and organizational structure of the material and its products can be changed by the technology of surface coating. Therefore, it is significant to study the nano-coating on the surface of substrate for ink-jet printing.

KEY WORDS: ink-jet printing; substrate; surface coating

随着数字成像技术的发展及应用领域的深入拓展, 人们对印刷品的种类及质量的要求越来越高。喷墨打印技术是将连续的微小墨滴喷射到打印基材表面, 从而让打印基材吸收墨滴形成图像或文字的一种非接触式的打印技术, 是计算机控制的印刷技术的典

型代表^[1]。

随着喷墨打印技术的不断发展, 对喷墨打印基材的需求和质量也随之持续增长。目前, 市场上常用的喷墨打印墨水主要是以水作为溶剂, 粘度较小, 流动性很大^[2]。对于吸收性基材, 如纸张, 墨滴喷射至基

收稿日期: 2017-10-23

基金项目: 北京市科技计划 (Z171100002417025)

作者简介: 刘亚男 (1988—), 女, 博士, 中级工程师, 主要研究方向为高分子合成、聚合物膜改性、油墨制备等。

材表面时往往会沿着基材表面的纹路流动,使墨滴的沉积面积增大,浸染到邻近的墨滴,产生渗色现象,不仅影响色彩的还原质量,也降低了图文的分辨率;墨水向基材内部纵向渗透也会影响墨点的色彩密度,降低其色饱和度和鲜艳性。对于非吸收性基材,如 PE、PET、PVC、玻璃、陶瓷等^[3-9],水性墨水因其表面张力较高,对基材的润湿、附着性能较差,影响印刷质量,因此为使色调平滑过渡,达到复制完美,需要优化基材表面的化学组成或物理结构。表面涂层技术能够改变材料及其制件表面成分和组织结构,获得性能优异的表面薄层,因而广泛应用于各行业。在印刷行业中,将表面涂层应用于喷墨打印基材上,一方面可以限制喷墨墨滴的铺展或者控制液滴的铺展方向,另一方面可以改变基材的表面张力,提高图文的附着力,最终实现高分辨率打印,因此,喷墨打印过程中,喷墨打印基材表面纳米涂层质量直接影响印品的质量。文中就目前喷墨打印基材表面纳米涂层的研究现状及发展趋势进行概述。

1 涂层的组成

目前,喷墨打印基材表面纳米涂层主要由连接料(树脂)、颜料和其他助剂组成^[10-11]。表面涂层中的连接料通常采用亲水性的高分子树脂,如聚丙烯酸(PA)、聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、聚乙烯醇(PVA)、明胶、羧甲基纤维素、羟乙基纤维素等^[12]。由于涂层液中的颜料不能直接粘着在基材上,将其与连接料混合在一起,通过静电作用及空间位阻效应分散颜料粒子的絮凝^[13],形成具有较强附着力的涂层,涂层液的附着力主要来自连接料与基材的物理作用(扩散、渗透作用)和化学作用(来自于—OH 等官能团对基材表面的分子间作用力);其次,连接料均为亲水性树脂,可以改变基材表面的亲疏水性,提供墨滴在基材上的润湿性,同时,吸收墨滴中水分,发生膨胀,形成网络,加快墨层的干燥速度。通常选择 2 种或多种连接料混合使用,进而弥补一种连接料性能单一的缺点^[14-15]。

表面涂层液中的颜料采用多孔的白色矿物质颜料或在涂层中能够形成多孔性结构的材料,如 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 CaCO_3 等纳米粒子^[16-21],其主要作用是填充、覆盖基材表面以提高印刷基材的平滑度、白度和不透明度等,使基材表面达到预期需要的光泽度,改善墨水的吸收性能等^[22]。如 SiO_2 ,由于粒径小、比表面积大,对油墨的吸收能力强,是最常用的颜料粒子^[23-24],其表面含有大量的 Si—OH 而成为其聚集体的立体分支结构,通过分子间作用力(氢键或范德华力)使得 SiO_2 与聚合物分子之间、 SiO_2 分子之间产生较强的相互作用力,有助于提高涂层液的稳定性以及涂层在基材上的附着力。此外,涂层液中的颜料为表面涂层提供了大量的间隙孔结构,其产生的毛

细作用可以快速吸收墨滴中的水分,使墨层快速干。

除此之外,涂层液中还加入一些辅助料,如分散剂(将颜料颗粒更好地分散在液体中)、固色剂、消泡剂、防静电剂等。

2 涂层的固化机理

Lepoutre 等^[25-29]曾系统研究了吸收性基材以及非吸收性基材表面涂层固化机理,臧永华等^[30]在此基础上提出了一个能够更完善地描述涂层固化过程的新机理,其固化过程可分为液相态、凝胶态和凝固态 3 个阶段。

1) 液相态。此阶段涂层液具有稳定悬浮液的所有特征,即无机纳米粒子能够在液体分子布朗运动的作用下无序碰撞、扩散,且能够在表面张力作用下或来自外力作用下流动等。对于非吸收性基材,其表面的此阶段水分蒸发主要是发生在空气与连续水膜的界面,水分蒸发造成涂层液体积收缩基本上等于被蒸发的水分体系。对于吸收性基材(纸张),其表面的涂层液固化过程相对复杂,水分除了在空气与连续水膜界面蒸发,还会吸附在纸张上并随着纤维组成的毛细管渗透进入纸张内部,向纸张 x, y, z 方向扩散。

2) 凝胶态。随着水分的蒸发,涂层液中无机纳米粒子和连接料相互靠近,形成较松散的能够变形和收缩的三维网状(毛细管)结构,此结构的建立在很大程度上限制了无机纳米粒子的运动。这一阶段,涂层内部仍存在大量的自由水分,且能够在毛细作用下迁移到涂层表面填补被蒸发的水分空间,直到涂层液中的自由水分消失。在不断增加的毛细作用下,涂层中胶黏剂粒子逐渐变形,粒子间相互融合成膜,同时与颜料粒子粘合在一起。

3) 凝固态。当涂层中无机纳米粒子的间隙和分布不再随着水分的蒸发而变化,涂层液进入凝固期干燥阶段。此时,由于涂层中水分蒸发使水-气界面位于毛细管结构的内部,空气则取代毛细管结构中水分占据的位置,并最终形成空气-无机纳米粒子反射界面。

3 涂层的物化性能

很多研究表明,喷墨材料的印刷适性和其他性能在很大程度上都取决于涂层结构的特性及其他性能^[24]。涂层的表面性质决定其性能,进而影响基材的吸墨性,因此这里从涂层的物理化学性能和光学性能进行概述。

3.1 孔隙率^[31-32]

涂层影响喷墨打印质量的主要原因之一是由于涂料中存在微孔和较大孔等孔隙的原因。一般采用 SiO_2 作为颜料,二氧化硅相比于其他无机颜料来说,吸墨能力更强,BET 比表面积大,可形成类

似于海绵状的纳米微孔结构, 此结构能够有效地避免墨水向打印基材的 x, y 方向扩散, 当墨水接触到打印介质表面(含有 SiO_2 纳米粒子的涂层)时, 墨水溶剂(水)会被纳米 SiO_2 粒子之间的间隙和纳米 SiO_2 粒子本身的孔隙吸收, 而染料则附着在纳米涂层的表面, 保证了良好的光学印刷密度^[33—35]。

理论上, 颜料的颗粒越小, 表面涂层所形成的毛细管结构所表现出的毛细作用越大, 其吸收墨滴的性能越好, 但是纳米粒子的粒径同时也会影响到涂层液粘度变化(纳米 SiO_2 粒子分散后可以形成一个 SiO_2 聚集体网络, 聚集体通过表面的 $\text{Si}-\text{OH}$ 基与连接料分子间形成氢键, 纳米粒子的粒径越小, 体系的流动性越受到限制, 即体系的粘度增加)。研究发现, 选择纳米粒子的粒径为 30 nm 时, 比表面积在 $300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上, 吸湿量在 45% 以上, 吸油量在 2 mL/g 以上。细孔容积为 $1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 时, 其吸墨能力强, 可以抑制墨滴向基材表面的 x, y 方向扩散^[36]。此外, 颜料的形状也会影响孔隙率的大小, 如沉淀法制备的二氧化硅粒子可呈片状, 类似于“圆饼”, 堆积密实而导致其孔隙率偏低, 而溶胶凝胶法制备的二氧化硅粒子呈球形, 粒子堆积松散, 形成的空隙增大。

涂层的空隙率不仅与所用颜料的比表面积有关, 与涂层液中连接料/颜料的比比例也有很大关系。如果连接料比例太低, 涂层的粘附力不足以把颜料粘附在基材表面, 而连接料的比例过高则引起涂层粘度过高, 不利于涂布流平, 此外, 连接料含量过高会降低涂层内部空隙率, 从而影响吸墨量。

3.2 亲和性^[37—38]

墨水因其表面张力而聚集, 墨点的扩散除了由墨水液滴的体积、冲撞强度决定, 还与墨水和基材的亲水性有很大的关系。亲和性表现为物理和化学两方面, 从物理角度, 使用涂层后会改变基材表面的亲疏水性, 用接触角表征(接触角的大小可直接反应基材表面自由能的大小, 接触角小, 表面润湿性就好)^[39], 其主要受连接料以及颜料排列组装后形成的多孔结构的影响^[40—42]。连接料一般含有大量的亲水基团(如 $-\text{OH}$), 会赋予基材表面较强的亲水性, 从而提高基材与墨水的亲和性。颜料粒子通常为亲水的多孔无机纳米粒子, 一方面提高了涂层液的亲水性, 有利于喷墨墨水渗入空隙中, 另一方面增大了涂层的粗糙度(接触面积), 接触角随之减小^[43—44]。

从化学角度, 对于染料型墨水, 着色剂与纳米涂层组分之间可以形成多种化学键。阴离子墨水含有的水溶性基团(如羧基、磺酸基、磷酸基)与涂层表面的阳离子基团(由涂层中的无机纳米粒子产生, 如 Ti^{4+} , Ca^{2+} 或 Al^{3+} 等)发生反应, 形成离子间作用力, 固定着色剂分子, 提高印品质量^[45—47]。

对于颜料墨水, 当喷射到基材表面时, 颜料与溶剂(水)发生分离, 溶剂(水)被迅速吸入涂层, 而颜料则在基材表面形成“滤饼”, 最终实现墨水在基材表面的固着^[48]。在颜料与溶剂(水)发生分离过程中, 起控制作用的主要是墨水的表面能, 即分子间化学键破坏的度量。此外, 颜料墨水中的树脂成分与涂层组分之间也需要形成分子间作用力(包括氢键和范德华力)才能保证最终图文良好的附着力。

3.3 粗糙度

表面粗糙度是指材料表面具有的较小间距和微小峰谷不平度, 可分为宏观粗糙度和微观粗糙度。对于吸收性基材, 如纸张, 是由纤维交织形成的网目构造体, 其网络结构具有多孔性, 且孔隙较大, 造成其宏观表面粗糙度很大, 在喷墨打印过程中, 这必然会使颜料粒子渗透到基材内, 导致色密度降低。在纸张表面涂布上涂层液后会将表面的空隙填满, 重新获得空隙小而多的微观粗糙表面^[32]。相反, 对于非吸收性基材, 其表面光滑无空隙, 即宏观粗糙度很低, 墨滴在基材表面的流动性会增加, 因此, 需要涂层来增加基材表面的微观粗糙度。涂层表面微观粗糙度则主要由涂层液中粒子(包括颜料和连接料)的粒径和粒径分布决定。一般涂层液中粒子的粒径越小, 分布越窄, 其表面粗糙度越低。基材表面的微观粗糙程度首先影响墨水需求量, 进而影响基材表面着墨的均匀性, 粗糙度大, 基材表面着墨不够均匀, 使高点覆盖不上油墨, 印迹呈现不实, 影响实际的密度。其次, 影响印品的质量, 基材表面粗糙度低, 印品上的图文可以如实再现, 尤其是小网点可以得到准确还原。

4 涂层的光学性能

涂层的不透明度、白度以及光泽度等光学性能在很大程度上代表了喷墨打印基材的质量水平。以上几项指标主要与连接料(类型、粒径)及无机纳米粒子(类型、粒度、粒度分布及粒形)密切相关。

4.1 不透明度

不透明度是指入射光线照射在基材上时不透光的程度, 它是描述基材阻光能力的一项指标。涂层的不透明度主要与所添加的无机纳米粒子的散射系数有关, 其散射系数越高, 则涂层的散射系数越高, 而对于某一特定波长的入射光, 无机纳米粒子的散射系数对应一个最佳粒径^[49]。

按照物理光学的原理: 可见光的波长范围约为 400~780 nm, 当粒子粒径(直径 d)约等于光波长的 $1/2$ 时(对于可见光来说, 最短波长为 400 nm, 即最小粒径约为 200 nm), 纳米粒子对光的阻挡能力最有效。当纳米粒子的粒径约小于或者约等于可见光波长

的 $1/4$ 时 (纳米粒子最大粒径约为 100 nm), 可见光在经过纳米粒子时会发生衍射现象, 纳米粒子对可见光不阻挡, 即为透明。根据文献报道, 白色颜料粒径为 $200\sim 350\text{ nm}$ 时, 粒子能够均匀排列与涂层平行, 有利于提高不透明度, 当白色颜料粒子的粒径小于 200 nm 时, 其遮盖力明显下降。此外, 当颜料与连接料对光的折射率一致时, 涂层亦为透明。

根据实际需求不同, 对涂层的不透明度也有所不同, 对于要印刷的纸张为了防止印迹的相互透印, 涂层必须是不透明度比较高的。对于特殊基材表面打印 (如在含有彩色纤维或水印的文档用纸或证件用纸上进行喷墨打印) 需要保留原有基材原有的光学识别特性, 需要涂层是透明或半透明性。

4.2 白度

性能优异的表面纳米涂层不仅要满足均匀、迅速地吸收墨水的要求, 还要具有一定的白度。通常把完全反射漫射体 (标准白) 的白度规定为 100% 。白度高的基材, 可增加墨迹与基材的反差, 使其在印刷质量墨点清晰度、色彩还原性、颜色强度和色密度等方面满足打印要求。

白度和选择的颜料类型和粒径有关, 如二氧化硅的折射率和白度略低于碳酸钙和二氧化钛^[50], 颜料粒径增加, 白度会相应增加; 此外, 影响涂层的白度的因素还在于连接料/颜料的比。连接料/颜料的比降低, 白度会相应增加。

4.3 光泽度

光泽度即为把投射到基材 (涂层) 表面上的光线向镜面反射出去的能力。反射光量越大, 则认为其光泽度越高^[51]。以下几方面因素会影响涂层表面光泽度。

1) 连接料中的主体树脂是否含有吸光性结构或基团的连接料。树脂中吸光性结构和基团会吸收入射光, 减小涂层表面的镜面反射, 从而降低光泽度。

2) 涂层表面的微观粗糙度 (SR)。增大 SR , 即增大表面的光散射系数, 减小涂层表面的镜面反射光, 使一部分入射光向半球空间发散, 从而降低涂层表面的光泽度。

3) 无机纳米粒子自身的折射率。增加纳米粒子的折射率来增大涂层表面的光泽度。

4) 无机纳米粒子的粒径及粒径分布 (PDI)。 PDI 较小的无机纳米粒子能够使涂层内部结构具有较大的孔隙直径和总的孔隙率, 进而提高纳米涂层表面的光泽度。

值得注意的是, 在研究无机纳米粒子的粒径时需要考虑其聚集问题。大部分的颜料粒子的粒径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$, 此时纳米粒子主要受涂层液中液体分子热运动的影响而做布朗运动, 在运动过程中纳米粒子间易受到分子间作用力等吸引力的影响而发生二次聚集。这

些聚集存在时纳米粒子的表观粒度 (细度) 大大提高, 进而影响涂层表面的光学性能, 因此必须保证颜料粒子的稳定分散^[49]。

5 喷墨打印纳米涂层的研究现状及其发展趋势

目前, 以计算机控制为基础的喷墨打印技术已向着个性化、智能化的方向发展, 对喷墨打印基材的用量和质量持续增长的同时, 对其种类要求也变得多样化。用喷墨打印技术打印图案最常用的承印物就是纸张, 喷墨打印除了用纸张^[22], 还有有机膜^[52]、玻璃^[53]、陶瓷^[54]、织物^[55]等。随着人们对印刷产品的质量需求越来越高的情况下, 提高印刷制品的质量显得尤为重要, 在基材表面用喷墨打印的方法, 喷涂上涂层可提高制品的质量。

喷墨技术与纳米涂层相结合可以得到具有高性能的功能性材料, Jovani^[56]在 Cr 和 Sb 中掺杂二氧化钛, 微乳液为介质用溶剂热合成法制得了陶瓷涂层。Kim^[57]通过水热法制备了具有很好分散性的 CoAl_2O_4 纳米喷墨涂层, 可用于陶瓷表面的装饰美化。最近 Rahul^[58]优化喷墨印刷工艺与调整油墨中的纳米颗粒浓度相结合, 制造厚的陶瓷涂层, 并且试验中发现调节稀释油墨中纳米颗粒的浓度, 可控制涂层的厚度, 同时显着改善涂层的缺陷。

随着家庭和公共场所的玻璃装饰品日益增长的需求, 玻璃瓷砖上的高分辨率彩色图案已经引起了人们的关注。Peng^[59]等通过机械研磨制备出稳定的 $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ 无机纳米玻璃涂层。由涂层样品的 SEM 断面图像可以看到 $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ 无机纳米很好地分散在涂层中, 并且与玻璃胶粘剂很好地粘合在玻璃板的表面, 有效地提高了玻璃的机械强度。

喷墨打印的纳米涂层迎合人们的需求, 正在向着智能化方向发展。Chang-Jian 等用^[60]三氧化钨 WO_3 纳米粒子和聚合物聚 3,4-亚乙基二氧噻吩: 聚苯乙烯磺酸盐 (PEDOT:PSS) 配出电致变色 (EC) 墨水 ($\text{WO}_3/\text{PEDOT:PSS}$), 通过喷墨印刷或喷涂的方式沉积高质量的 EC 层。 PEDOT:PSS 充当连接 WO_3 纳米颗粒的导电粘合剂, 可以降低阻抗, 并且具有更好电化学性能。 $\text{WO}_3/\text{PEDOT:PSS}$ 电致变色墨水表现出 54.1% 的光学调制, 见图 1, 响应时间为 1.1 s , 着色效率为 $83.87\text{ cm}^2/\text{C}$ 。并证明此混合型电致变色装置 (ECD) 与 $\text{WO}_3/\text{PEDOT:PSS}$ 结合, 具有优异的耐久性, 还可以高效地阻止阳光和减少太阳能热量的获得, 因此, 室内温度可以从 $32.7\text{ }^\circ\text{C}$ 调节至 $29.4\text{ }^\circ\text{C}$, 该涂层可以用于智能窗口减少太阳能热, 这种智能化的科技将会主导未来的生活和发展。

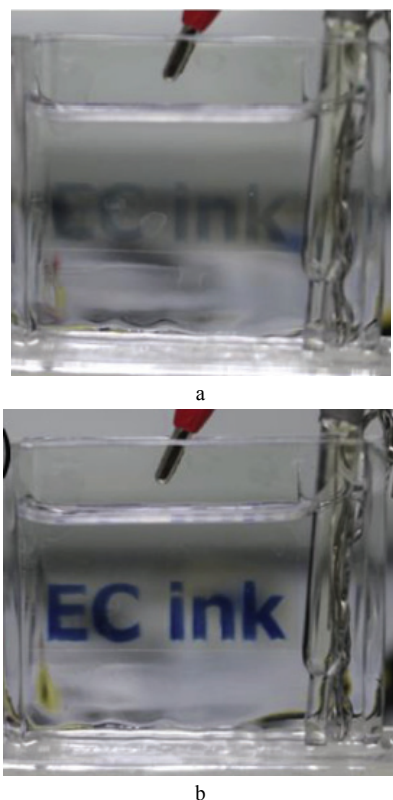


图1 WO_3 纳米粒子和聚合物电致变色墨水基显示变清晰和变模糊的效果

Fig.1 Cleared and blurred effects of ink base of WO_3 nano-particle and polymer by electrochromism

6 喷墨打印纳米涂层的要求和挑战

虽然喷墨打印纳米涂层有很多优点,但是制备喷墨打印纳米涂层对其也有一定的要求和挑战,由于喷墨打印原料中的纳米颗粒的颗粒度为纳米级,容易发生团聚现象,从而影响样品的稳定性和分散性。如何将易团聚的纳米粒子有效的分散成纳米级,是喷墨印刷制备纳米涂层的关键。纳米颗粒在涂料中的分散通常可通过高速研磨分散,加入表面活性剂及超声波分散等方法,只有纳米涂料分散均匀,分散液稳定性好,才能发挥出其特殊的性能。另外除了颗粒度小以外为了便于喷墨印刷,还要求纳米涂料的粘度低,表面张力和干燥性适中,便于喷涂并且防止喷墨打印机的喷嘴被堵住。

7 结语

喷墨打印技术具有高度的灵活性、无掩模的特点,并且与其他溶液的沉积技术相比只需要少量的材料,表面涂层技术能够改变材料及其制件表面成分和组织结构,获得性能优异的表面薄层,2种技术的完美结合更容易得到复制完美、具有功能性的制品。文中通过综述近年来对表面纳米涂层的固化机理及其表面性质的研究工作对进一步深入研究基材表面纳

米涂层具有一定的意义。

参考文献:

- [1] 周文华. 基于可光学识别的喷墨打印纸的涂层特性及其印刷性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
ZHOU Wen-hua. Research on the Properties and Print Abilities of Ink Jet Printing Paper with the Optical Recognisable Coatings[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [2] 覃有学. 喷墨印刷墨水[J]. 丝网印刷, 2014(7): 34—42.
QIN You-xue. The Ink of ink-jet Printing[J]. Screen Printing, 2014(7): 34—42.
- [3] WU J, LIU L, JIANG B, et al. A Coating of Silone Modified Silica Nanoparticles on PET Substrate Film for Inkjet Printing[J]. Applied Surface Science, 2012, 258(12): 5131—5134.
- [4] 季玉秋. 喷墨打印 VPC 证卡涂层研究[C]// 中国感光学会第七次全国会员代表大会暨学术年会和第七届青年学术交流会论文摘要集: 260—265.
JI Yu-qiu. The Research of Ink-jet Printing VPC Card Coating[C]// The 7th Congress of Chinese Society for Imaging Science and Technology Symposium and the 7th Youth Academic Exchange Meeting: 260—265.
- [5] 彭丽思. 环境友好型薄膜打印涂层的制备与性能研究[D]. 广州: 广州地球化学研究所, 2016.
PENG Li-si. The Study on the Preparation and Performance of Environment-friendly Film Print Coating[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, 2016.
- [6] 王苏. 数码喷绘吸墨层用聚丙烯酸酯乳液的合成及应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
WANG Su. Synthesis and Application of Acrylic Emulsion for Ink-recvig Layer of Digital Inkjet[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [7] RAHUL S H, BALASUBRAMANIAN K, VENKATESh S. Optimizing Inkjet Printing Process to Fabricate Thick Ceramic Coatings[J]. Ceramics International, 2017, 43(5): 4513—4519.
- [8] 彭丽思, 罗衍强, 刘力荣, 等. PET 膜丙烯酸酯系彩色激光打印涂层的制备与性能[J]. 合成树脂及塑料, 2016, 33(2): 5—9.
PENG Li-si, LUO Yan-qiang, LIU Li-rong. Preparation and Properties of Color Laser Printing Coatings Based on Acrylic Resin on PET[J]. China Synthetic Resin, 2016, 33(2): 5—9.
- [9] YEO L P, LOK B K, NGUYEN Q M P, et al. Selective Surface Modification of PET Substrate for Inkjet Printing[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 71(9/10/11/12): 1749—1755.
- [10] 吴捷, 刘丽, 姜波, 等. 喷墨材料涂层厚度对其性能的影响[J]. 化学与黏合, 2012, 35(4): 1—3.
WU Jie, LIU Li, JIANG Bo, et al. The Influence of Coating Thickness of Inkjet Material on Its Properties Chemistry and Adhesion, 2012, 35(4): 1—3.
- [11] 吴捷, 韩笑, 黄玉东. 喷墨材料的制备及涂层厚度对其性能的影响[J]. 黑龙江科技学院学报, 2012, 22(5): 469—472.
WU Jie, HAN Xiao, HUANG Yu-dong. Preparation of

- Inkjet Materials and Influence of Coating Thickness on Its Properties[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology, 2012, 22(5): 469—472.
- [12] 王玉丰, 邢宏龙, 王虹. 基于纳米 SiO₂/聚乙烯醇制备水性微孔型吸墨打印介质专用涂料[J]. 安徽化工, 2016, 42(2): 19—22.
WANG Yu-feng, XING Hong-long, WANG Hong. Preparation of Special Waterborne Coating Based on Nano-SiO₂/Polymer-polyvinyl Alcohol for Micro porous Ink-jet Photo Media[J]. Anhui Chemical Industry, 2016, 42(2): 19—22.
- [13] 狄宏伟, 杨汝男. 颜料涂布纸涂层结构的影响因素[J]. 西南造纸, 2005(6): 36—38.
DI Hong-wei, YANG Ru-nan. Influence Factors of Structure of the Coating Layer of Pigment Coated Paper[J]. Southwest Pulp and Paper, 2005(6): 36—38.
- [14] 张岩, 陈杰, 曹云峰, 等. 喷墨打印纸涂层中胶黏剂配比对油墨扩散渗透的影响[J]. 中国造纸学报, 2015, 30(1): 32—35.
ZHANG Yan, CHEN Jie, CAO Yun-feng, et al. Impact of Binder Composition of Coatings on Ink Diffusion and Permeation in Inkjet Paper[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2015, 30(1): 32—35.
- [15] 刘惕生. 喷墨打印介质墨水接受层的技术特点[J]. 影像技术, 2006(3): 31—34.
LIU Ti-sheng. The Technical Characteristics of Ink Receiving Layer of Inkjet Printing Media[J]. Image Technology, 2006(3): 31—34.
- [16] ARIN M, LOMMENS P, VANDEPUT D, et al. Durability and Efficiency of Ink-jet Printed TiO₂Coatings: Influence of Processing Temperature[J]. Thin Solid Films, 2014, 556(4): 160—167.
- [17] HAGEN R V, SNEHA M, MATHUR S. Ink-jet Printing of Hollow SnO₂ Nanospheres for Gas Sensing Applications[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2014, 97(4): 1035—1040.
- [18] VILARDELL M, GRANADOS X, RICART S, et al. Flexible Manufacturing of Functional Ceramic Coatings by Inkjet Printing[J]. Thin Solid Films, 2013, 548(24): 489—497.
- [19] SCHMIEDOVA V, DZIK P, VESELY M, et al. Optical Properties of Titania Coatings Prepared by Inkjet Direct Patterning of a Reverse Micelles Sol-Gel Composition[J]. Molecules, 2015, 20(8): 14552—14564.
- [20] ČERNÁ M, VESELY M, DZIK P, et al. Fabrication, Characterization and Photo Catalytic Activity of TiO₂Layers Prepared by Inkjet Printing of Stabilized Nano Crystalline Suspensions[J]. Applied Catalysis B Environmental, 2013, 138/139(21): 84—94.
- [21] RAHUL S H, BALASUBRAMANIAN K, VENKATESH S. Inkjet Printing of 5 Mol% YSZ Nano Particle Suspensions on Porous α -Al₂O₃ Substrates[J]. Materials Today Proceedings, 2015, 2(4/5): 3552—3564.
- [22] 柳艳敏, 盖树人, 王亚东. 彩色喷墨打印纸涂层技术的研究进展[J]. 信息记录材料, 2012, 13(3): 17—22.
LIU Yan-min, GE Shu-ren, WANG Ya-dong. Research Progress of Coating Layer in Color Ink-Jet Printing Paper[J]. Information Recording Materials, 2012, 13(3): 17—22.
- [23] WANG X, YIN Y, WANG C. New Approach to Impart Antibacterial Effect and Improve Ink Jet Printing Properties with Modified Si₂Sols Containing Cationic Biocides[J]. Colloids & Surfaces Physicochemical & Engineering Aspects, 2010, 361(1/2/3): 51—55.
- [24] HEILMANN J, LINDQVIST U. Effect of Drop Size on the Print Quality in Continuous Ink Jet Printing[J]. Journal of Imaging Science & Technology, 2000, 44(6): 491—494.
- [25] LEPOUTRE P. The Structure of Paper Coatings: An Update[J]. Progress in Organic Coatings, 1989, 17(2): 89—106.
- [26] WATANABE J, LEPOUTRE P. A Mechanism for the Consolidation of the Structure of Clay-latex Coatings[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 27(11): 4207—4219.
- [27] LEE D I, WHALENSHAW M. Fundamentals and Strategies in Binder Migration in Paper and Paperboard Coatings[M]. Atlanta: Tappi Press, 1993.
- [28] BERG C G, LEPPANEN C. An Experimental Study of the Liquid movement in the Paper Coating Process[C]// Proceedings of the 13th International Drying Symposium Beijing, 2002.
- [29] STANISLAWSKA A, LEPOUTRE P. Consolidation of Pigmented Coatings: Development of Porous Structure[J]. Tappi Journal, 1996, 79: 117—125.
- [30] 臧永华, 刘忠, 曹振雷. 一个基于涂层表面形成滤饼层的乳胶/颜料体系涂布纸涂层固化机理[J]. 涂布纸涂层, 2007, 27(2): 34—40.
ZANG Yong-hua, LIU Zhong, CAO Zhen-lei. A New Mechanism for the Consolidation of the Structure of Latex-pigment Coatings[J]. China Pulp & Paper, 2008, 27(2): 34—40.
- [31] 颜进华, JOYCE M. 涂层的 BET 表面积对喷墨打印纸打印性能的影响[J]. 中华纸业, 2007, 28(11): 31—33.
YAN Jin-hua, JOYCE M. Effects of Coating Layer's BET Surface Area on the Printing Quality of Inkjet Printing Paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2007, 28(11): 31—33.
- [32] MORSY F A, EL-SHERBINY S, SAMIR M, et al. Application of Nanostructured Titanium Dioxide Pigments in Paper Coating: A Comparison Between Prepared and Commercially Available Ones[J]. Journal of Coatings Technology & Research, 2016, 13(2): 307—316.
- [33] ZHU Y C, CHEN Y Z, ZHANG Z J. Influence of Inkjet Paper Coating Structure on Paper Properties and Print Performance[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 262: 269—272.
- [34] LIU X N, CHEN Y Z, SI Z J. Influence of Silica and Alumina Oxide on Coating Structure and Print Quality of Ink Jet Papers[J]. World Pulp & Paper, 2005, 4(2): 11—16.
- [35] LAMMINMÄKI T T, KETTLE J P, PUUKKO P J T, et al. Short Timescale Inkjet Ink Component Diffusion: An Active Part of the Absorption Mechanism into Inkjet Coatings[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2012, 365: 222—235.
- [36] 王秋双. 不同粒径二氧化硅对彩喷纸涂层微观结构的影响[J]. 轻工科技, 2012(3): 32—34.
WANG Qiu-shuang. Influence of Deferent Silica Particles on the Microstructure of the Painted Paper Coat-

- ing[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2012(3): 32—34.
- [37] GALTON D, BOULD D, CLAYPOLE T. The Effect of Surface Properties on the Printability of Flexographic Printing Plates[C]// *Proceedings of 37th International Research Conference of Iarigai*, Montreal, 2010.
- [38] TOMASEGOVIC T, BEYNON D, CLAYPOLE T, et al. Tailoring the Properties of Deposited Thin Coating and Print Features in Flexography by Application of UV-ozone Treatment[J]. *Journal of Coating Technology and Research*, 2016, 13(5): 815—828.
- [39] 刘青松. 阳离子改性介孔二氧化硅吸墨层的制备及其喷墨打印性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- LIU Qing-song. Research on Ink-jet Paper Coating Prepared by Cationic Modified Mesoporous Silica and the Performance of Ink-jet Printing[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [40] SOWADE E, BLAUDECK T, BAUMANN R R. Inkjet Printing of Colloidal Nanospheres: Engineering the Evaporation-Driven Self-Assembly Process to Form Defined Layer Morphologies[J]. *Nanoscale Research Letters*, 2015, 10(1): 362.
- [41] GUO W, WANG M, XIA W, et al. Evaporation-induced Self-assembly of Capillary Cylindrical Colloidal Crystal in A Face-centered Cubic Structure with Controllable Thickness[J]. *Journal of Materials Research*, 2012, 27(13): 1663—1671.
- [42] GUO W, WANG M, XIA W, et al. Two Substrate-confined Sol-gel Coassembled Ordered Macroporous Silica Structures with an Open Surface[J]. *Langmuir*, 2013, 29(20): 5944—5951.
- [43] MÄÄTTÄNEN A, IHALAINEN P, BOLLSTRÖM R, et al. Wetting and Print Quality Study of An Inkjet-printed Poly(3-hexylthiophene) on Pigment Coated Papers[J]. *Colloids & Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2010, 367(1/2/3): 76—84.
- [44] KOIVUNEN R, JUTILA E, BOLLSTRÖM R, et al. Hydrophobic Patterning of Functional Porous Pigment Coatings by Inkjet Printing[J]. *Microfluidics and Nanofluidics*, 2016, 20(6): 83.
- [45] 房光峻. 高速喷墨纸张涂层的研制及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- FANG Guang-jun. Preparation of High Speed Inkjet Paper Coating Layer and Study on Its Properties[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [46] PROVOST J, LAVERY A. Interactions of Digital Inks with Textile and Paper Substrates in Inkjet Printing[R]. Provost Ink Jet Consulting Ltd, 2009.
- [47] LAMMINMÄKI T T, KETTLE J P, GANE P A C. Absorption and Adsorption of Dye-based Inkjet Inks by Coating Layer Components and the Implications for Print quality[J]. *Colloids & Surfaces A: Physicochemical & Engineering Aspects*, 2011, 380(1): 79—88.
- [48] 陈港, 房光峻. 基于激光共聚焦显微镜分析的纸张喷墨打印质量研究[J]. *造纸科学与技术*, 2013(2): 73—77.
- CHEN Gang, FANG Guang-jun. Study on Inkjet Printing Quality Based on Confocal Laser Scanning Microscope[J]. *Paper Science & Technology*, 2013(2): 73—77.
- [49] 盖恒军, 胡开堂. 颜料粒度分布对涂层光学性能的影响[J]. *纸和造纸*, 2003(4): 18—20.
- GE Heng-jun, HU Kai-tang. The Influence of Particle Size Distribution on Optical Properties of Coatings[J]. *Paper and Paper Making*, 2003(4): 18—20.
- [50] 冯龙, 郭丽娜. 二氧化硅性质对涂布纸张性能影响研究[J]. *信息记录材料*, 2016, 17(5): 14—15.
- FENG Long, GUO Li-na. The Influence of Silica Properties on Performance of Coated Paper[J]. *Information Recording Materials*, 2016, 17(5): 14—15.
- [51] 潘家亮, 王佰森, 张拴勤, 等. 涂层光泽度影响因素理论分析研究[J]. *现代涂料与涂装*, 2011, 14(12): 31—33.
- PAN Jia-liang, WANG Bai-sen, ZHANG Shuan-qin, et al. Study on Theory Analysis of Influencing Factors on Coatings Glossiness[J]. *Modern Paint & Finishing*, 2011, 14(12): 31—33.
- [52] MERILAMPI S, LAINE T, RUUSKANEN P. The Characterization of Electrically Conductive Silver Ink Patterns on Flexible Substrates[J]. *Microelectronics Reliability*, 2009, 49(7): 782—790.
- [53] HREHOROVA E, REBROS M, PEKAROVICOVA A, et al. Gravure Printing of Conductive Inks on Glass Substrates for Applications in Printed Electronics[J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(6): 318—324.
- [54] KOSMALA A, ZHANG Q, WRIGHT R, et al. Development of High Concentrated Aqueous Silver Nanofluid and Inkjet Printing on Ceramic Substrates[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2012, 132(2): 788—795.
- [55] MERILAMPI S, BJÖRNINEN T, HAUKKA V, et al. Analysis of Electrically Conductive Silver Ink on Stretchable Substrates under Tensile Load[J]. *Microelectronics Reliability*, 2010, 50(12): 2001—2011.
- [56] JOVANIĆ M, DOMINGO M, MACHADO T R, et al. Pigments Based on Cr and Sb Doped TiO₂, Prepared by Microemulsion-mediated Solvothermal Synthesis for Inkjet Printing on Ceramics[J]. *Dyes & Pigments*, 2015, 116: 106—113.
- [57] KIM J H, SON B R, YOON D H, et al. Characterization of Blue CoAl₂O₄, Nano-pigment Synthesized by Ultrasonic Hydrothermal Method[J]. *Ceramics International*, 2012, 38(7): 5707—5712.
- [58] RAHULA S H, BALASUBRAMANIAN K, VENKATESH S. Optimizing Inkjet Printing Process to Fabricate Thick Ceramic Coatings[J]. *Ceramics International*, 2017, 43(5): 4513—4519.
- [59] PENG X, ZHANG Q, CHENG J, et al. Preparation and Characterization of a Stable Nano-sized Zn_xCo_{1-x}Al₂O₄, Ink for Glass Decoration by Ink-jet Printing[J]. *Glass Physics & Chemistry*, 2017, 43(3): 246—256.
- [60] CHANG-JIAN C W, CHO E C, YEN S C, et al. Facile Preparation of WO₃/PEDOT:PSS Composite for Inkjet Printed Electrochromic Window and Its Performance for Heat Shielding[J]. *Dyes & Pigments*, 2018(148): 465—473.