

# 真空喷铝纸转移涂层性能研究

陈洋<sup>1</sup>, 陈然<sup>2</sup>

(1. 苏大维格(盐城)光电科技有限公司, 江苏 盐城 224100;

2. 上海紫江喷铝环保材料有限公司, 上海 201102)

**摘要:** **目的** 为了解决真空喷铝转移纸胶印掉墨问题, 同时研究掉墨现象的原因机理。**方法** 通过实验对纸张表面转移涂层的油墨结合牢度、表面张力、涂层结合牢度、涂层耐温性和耐溶剂性进行测试, 同时对比涂层红外谱图和 X 射线光电子能谱(XPS)。**结果** 真空喷铝转移纸放置 12 个月后会 出现表面张力降低到真空镀铝纸行业标准(BB/T 0054—2010)以下, 放置 18 个月后会 出现大面积掉墨现象, 但涂层牢度并未出现变化。6—15 个月涂层表面硅原子数分数由 0 增至 0.6%, 18 个月的涂层表面硅原子数分数剧增为 3.5%; 同时表面涂层的耐温性、耐溶剂性未随着时间出现明显变化。**结论** 纸张中的硅含量以及喷铝纸加工过程中水性背涂里面的硅含量逐步向纸张正面的转移涂层表面转移, 造成硅物质富集, 形成有机硅低分子物质的弱界面层, 降低了涂层的表面张力, 并使其印刷适性变差。研究所得结论对真空喷铝转移纸产业化生产具有指导意义。

**关键词:** 真空喷铝转移纸; 胶印; 转移涂层; 时间

**中图分类号:** TS895 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)13-0094-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.13.012

## Transfer Coating Properties of Vacuum Transfer Metalized Paper

CHEN Yang<sup>1</sup>, CHEN Ran<sup>2</sup>

(1. SVG (Yancheng) Optronics Co., Ltd., Jiangsu Yancheng 224100, China; 2. Shanghai Zijiang Metallization Environmental Protection Material Co., Ltd., Shanghai 201102, China)

**ABSTRACT:** The work aims to solve the problem of ink loss during offset printing of vacuum transfer metalized paper and study the cause and mechanism of the ink loss phenomenon. The ink binding fastness, surface tension, coating binding fastness, temperature resistance and solvent resistance of the transfer metalized paper coating were tested by experiment. Infrared spectrum and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) of the coating were compared. The results showed that the surface tension of the vacuum transfer metalized paper decreased to below the industry standard of environmental vacuum metalized paper (BB/T 0054-2010) after it was placed after 12 months, and the ink dropped in a large area after placed for 18 months, but the coating fastness did not change. The mass fraction of silicon on the coating surface increased from 0 to 0.6% at 6-15 months, and increased to 3.5% at 18 months. Meanwhile, the solvent resistance and temperature resistance of the surface coating did not change significantly with time. The silicon content in the paper and the silicon content in the water-based back coating during the processing of the vacuum transfer metalized paper will gradually transfer to the surface of the transfer coating on the front of the paper. The silicon substance is enriched to form a weak interface layer of organosilicon low molecular substances, which reduces the surface tension of the coating and deteriorates its printability. The conclusion has a guiding significance for the industrial production of the vacuum transfer metalized paper.

**KEY WORDS:** vacuum transfer metalized paper; offset printing; transfer coating; time

收稿日期: 2022-01-13

作者简介: 陈洋(1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为喷铝纸、微纳结构光刻纸、特种纸等。

真空喷铝转移纸作为一种新型的可降解环保材料,越来越多地应用于香烟、食品、日化、酒盒等包装领域<sup>[1]</sup>。真空喷铝转移纸的一般工艺:首先在作为转移载体的 PET 膜上涂布转移涂料,如果需要镭射效果,则在转移涂料上模压对应的镭射信息,然后在转移涂层上真空镀铝,接着在铝层上涂布胶水,将它与纸张复合在一起,最后将作为转移载体的 PET 膜剥离,得到自下而上依次是纸张、胶水、铝层、可能含有镭射信息的转移涂层<sup>[2]</sup>。同时真空喷铝转移纸具有良好的印刷性能和机械加工性能,适合于胶版、凹版、凸版、柔版以及丝网印刷,也可进行压纹、凹凸、模切等印后加工<sup>[3]</sup>。随着产品的升级,传统的通版镭射喷铝纸已经无法满足市场的需求,目前运用较多的定位镭射、全息浮雕等产品,因定位要求高,后道印刷基本为胶印<sup>[4]</sup>。在实际印刷过程中,笔者结合自己在真空喷铝转移纸行业的多年经验,发现放置时间超过一年的真空喷铝转移纸,在胶印过程中更容易出现印刷掉墨现象。

真空喷铝转移纸的转移涂层与胶印油墨直接接触,行业内往往认为印刷适应性差的原因是转移涂层表面张力 $\leq 38$  mN/m、转移涂层附着力差等原因所致<sup>[5]</sup>。为了研究真空喷铝转移纸在胶印过程中容易出现印刷掉墨现象的具体原因机理,将真空喷铝转移纸储存 6 个月、9 个月、12 个月、15 个月、18 个月后,测试其油墨结合牢度是否发生变化,通过实验验证纸张表面转移涂层的表面张力、涂层结合牢度是否与印刷掉墨现象完全相关。同时通过对比表面转移涂层的红外谱图,测试 X 射线光电子能谱(XPS)对掉墨问题进行进一步研究分析。对真空喷铝转移纸的转移涂层耐温性、耐溶剂性进行测试,研究纸张的功能性是否发生变化。

## 1 实验

### 1.1 原料

主要材料:真空喷铝转移纸,上海紫江喷铝环保材料有限公司;甲酰胺、乙二醇乙醚、乙酸乙酯,上海国贸化工有限公司;龙胆紫,上海鼓臣生物技术有限公司;2.5 cm OPP 胶带,永大(中山)胶带有限公司;3M810#胶带,3M 材料技术(苏州)有限公司;胶印油墨,盛威科上海油墨有限公司。

### 1.2 实验仪器设备

主要仪器:UV 光固机(RX-400-2,上海网谊丝印油墨有限责任公司);UV 刮墨机(RI-2,石川岛产业机械株式会社);胶黏带压滚机(YGJ-02,济南兰光机电技术有限公司);圆盘剥离试验机(BLJ-02,济南兰光机电技术有限公司);傅里叶变换红外光谱仪(FTR-650,天津港东科技股份有限公司);X 射线光

电子能谱仪(Axis Supra, 岛津 Kratos 公司)。

### 1.3 样张制备

油墨结合牢度测试:将刮墨好的样品裁成宽为 30 mm、长至少为 220 mm 的纵向和横向试样各 2 张。纵向试样的长边平行于纸张纤维方向,横向试样的长边垂直于纸张纤维方向。每张纵向和横向试样的一端应做好标记,以便区分。样张表面应确保无缺陷、无脏污、无水(油)迹、无指印及其他可能会影响检测结果的因素。

表面张力测试:取样 700 mm×600 mm 样张,样张表面平整、洁净,无缺陷脏污、无水油迹、无指印等。

涂层牢度测试:取样 700 mm×600 mm 样张,样张表面平整、洁净,无缺陷脏污、无水油迹、无指印等。

傅里叶红外变换测试(FTIR):样张裁成约 A4 大小,样张表面应确保无缺陷脏污、无水油迹、无指印等。

X 射线光电子能谱(XPS)分析:大张样张左右分别切裁成 100 mm×100 mm 大小样张备测,保持样张表面洁净,无污染。

涂层耐温性测试:样张裁成约 A4 大小,将一层 BOPP 烟膜覆盖在试样待测面并固定,样张表面应确保无缺陷脏污、无水油迹、无指印等。

涂层耐溶剂性测试:样张裁成约 A4 大小作为底材,在样张表面选取长度为 120 mm 的擦拭区域,用自来水清洁涂层表面,除去表面疏松物质后晾干。用铅笔或其他合适耐溶剂的记号笔,在干净、无损涂层表面划取 120 mm×25 mm 的试验区域进行测试。

### 1.4 测试方法

油墨结合牢度测试:按照 GB/T 13217.7—2009《液体油墨附着牢度检验方法》采用圆盘剥离机测试,以未拉掉的油墨层面积进行表征,结合牢度 $\geq 95\%$ 为合格,油墨层结合牢度按按式(1)计算。

$$A = \left( \frac{A_1}{A_1 + A_2} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:A 为油墨层结合牢度; $A_1$  为油墨层的格数; $A_2$  为被揭去的油墨层的格数。

表面张力测试:按照 GB/T 14216—2008《塑料膜和片润湿张力的测定》配制表面张力为 26~56 mN/m 的液体,用棉签蘸取表面张力不同的液体涂布面积 6 cm<sup>2</sup> 以上,测试表面张力,若 2 s 基本不收缩,重复 3 次则判为合格值。

涂层结合牢度测试:按照 GB/T 5210—2006《色漆和清漆 拉开法附着力试验》测试涂层结合牢度。

傅里叶红外变换测试(FTIR):按照 GB/T 6040—2019《红外光谱分析方法通则》规定的方法测

试转移涂层的红外谱图,通过谱图来判定转移涂层是否出现本质变化。测试范围为  $600 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$ ,扫描次数定为 32 次,分辨率为  $4 \text{ cm}^{-1}$ 。

X 射线光电子能谱(XPS)分析:按照 GB/T 19500—2004《X-射线光电子能谱分析方法通则》规定的方法来定性所含物质及其含量。X 射线源采用 Al Ka, X 射线束斑直径为  $500 \mu\text{m}$ ,能谱扫描范围为  $0 \sim 1\,360 \text{ eV}$ ,宽幅扫描间距为  $1 \text{ eV}$ ,能量分析器固定透过能为  $100 \text{ eV}$ 。窄幅扫描间距为  $0.1 \text{ eV}$ ,能量分析器固定透过能为  $30 \text{ eV}$ 。

涂层耐温性测试:采用五点梯度热封仪检测,热封压力为  $100 \text{ kPa}$ ,热封时间为  $1 \text{ s}$ ,受压平板温度为  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,热封条温度为  $110 \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

检测步骤:启动热封仪,待热封温度达到设定值,稳定  $10 \text{ min}$ ;将待测面朝上置于仪器受压平板,按下按钮测试;取下试样并在各热压部位记录所对应的热封条温度;目视观察试样表面的热压部位,耐热温度以试样表面无明显变色和起皱情况下所能承受的最高温度表示。同一样品在耐热温度下重复检测 3 次,表面应均无明显变色和起皱。

涂层耐溶剂性测试:按照 GB/T 23989—2009《涂料耐溶剂擦拭性测定法》测试涂层的耐溶剂性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 油墨结合牢度测试

将储存 6—18 个月的样品使用 UV 刮墨机手工刮墨模拟印刷,通过圆盘剥离机测试其油墨结合牢度,测得数据见表 1。储存时间 15 个月以内时,样品的油墨结合牢度基本没有发生变化,未拉掉的油墨层面积均为 100%。储存 18 个月后,印刷油墨与转移涂层的附着力明显变差,未拉掉的油墨层面积仅为 10%,见图 1。这与行业内常遇到的问题——放置时间一年以上的真空喷铝转移纸在胶印过程中出现的印刷掉墨现象相符。为了分析其具体原因,笔者首先按照行业内的一般经验分别测试了转移涂层的结合牢度和样品的表面张力,再对样品表面进行了红外光谱分析和 X 射线光电子能谱分析,并最终对转移涂层的耐溶剂和耐温的功能性进行了测试。

### 2.2 表面张力测试

在温度为  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 60%的环境下,测试样品在不同储存时间下的表面张力,测得数据见表 2。由表 2 可知,样品转移涂层刚开始成膜时的表面张力为  $40 \text{ mN/m}$ ,且样品储存 6 个月以内的表面张力基本保持不变。7—9 个月出现衰退,降低为  $38 \text{ mN/m}$ ,符合真空喷铝纸行业标准(BB/T 0054—2010)。储存 12 个月至 18 个月的纸样表面张力仅为  $36 \text{ mN/m}$ ,但并未在储存 18 个月时出现进一步的明显降低。显然,

纸样的表面张力缓慢降低并不能解释 2.1 节中出现的 18 个月印刷油墨与转移涂层的附着力差的问题。再根据相关研究,表面张力  $\geq 38 \text{ mN/m}$  的要求,并不直接适用于转移纸印刷的质量控制,特别是用于 UV 胶印的真空喷铝转移纸的转移涂层<sup>[6]</sup>。胶印印刷适应性并不完全由表面张力所决定。

表 1 同一样品在不同储存时间下的油墨结合牢度  
Tab.1 Ink binding fastness of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	油墨结合牢度/%
6	100
9	100
12	100
15	100
18	10



图 1 同一样品在不同储存时间下的油墨结合牢度实物图

Fig.1 Ink binding fastness of the same sample under different storage time

表 2 同一样品在不同储存时间下的表面张力  
Tab.2 Surface tension of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	表面张力/ $(\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$
0	40
6	40
9	38
12	36
15	36
18	36

### 2.3 涂层结合牢度测试

在温度为 23 °C、相对湿度为 60% 的环境下, 测试样品在不同储存时间下的涂层结合牢度。在真空镀膜时, 涂层是铝原子附着的载体, 因此与铝原子的接触附着十分重要, 而且要有利于铝原子附着和排列, 这就要求涂层与铝原子有良好的结合力<sup>[7]</sup>。使用 3M810 胶带平贴于纸面 60 s 后 45° 快拉, 并在强光下观察表面涂层是否有脱落。测得数据见表 3, 所有样品涂层均未脱落。显而易见, 纸样涂层的层间结合力及涂层与底纸的结合力在储存一年后依然符合相关要求, 并未出现突然变差的情况, 证明掉墨现象并非由涂层牢度不佳导致。

表 3 同一样品在不同储存时间下的涂层结合牢度  
Tab.3 Coating binding fastness of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	涂层结合牢度
6	OK
9	OK
12	OK
15	OK
18	OK

### 2.4 傅里叶红外变换测试 ( FTIR )

为了探究表面转移涂层是否发生了结构变化, 对不同储存时间下的样品进行红外光谱测试分析, 见图 2。可以看出, 储存时间为 6—18 个月的样品的红外谱图并未发生明显变化。谱图的一致性证明了喷铝纸表面转移涂层的基本结构并未随着时间发生明显变化, 即掉墨现象的出现并非由于转移涂层出现结构变化导致。根据相关研究, 喷铝纸在储存的时候, 纸张及涂层中添加的助剂, 环境介质中的水分子、油污和空气等小分子物质会通过吸附、扩散、迁移和凝集等作用, 甚至键合等途径, 在转移涂层表面形成低分子物质的富集区, 即弱界面层, 降低了转移涂层的表面张力, 并使其印刷适性变差<sup>[8-9]</sup>。

### 2.5 X 射线光电子能谱 ( XPS ) 谱图分析

为了探究喷铝纸表面析出的小分子物质的成分, 笔者通过 XPS 分析储存时间为 6 个月、9 个月、12 个月、15 个月、18 个月纸张表面元素的变化, 见图 3a。在 XPS 光谱图中, 可以观察到 C 1s, O 1s 的特征峰, 结合能分别为 285.1、532.3 eV。第 18 个月纸张的 XPS 光谱图中, 出现了 Si 2p 的特征峰, 结合能为 102 eV。由图 3b 和表 4 可知, 6—15 个月硅含量逐渐增加, 元素原子数分数由 0 增至 0.6%, 但均未出现成型的峰。18 个月的纸张表面硅原子数分数剧增为 3.5%。这表明随着储存时间增加, 纸张表面逐渐有含硅的无机小分子析出。此外, 由表 4 也可看出,

18 个月的样品表面 C 原子数分数明显升高, 从 69.9% 升至 75.1%, O 原子数分数则由 29.5% 降低至 20.0%, 证明硅主要以 Si—C 键的形式存在, 析出的有机硅形成了低分子物质弱界面层, 降低了样品涂层的表面张力。

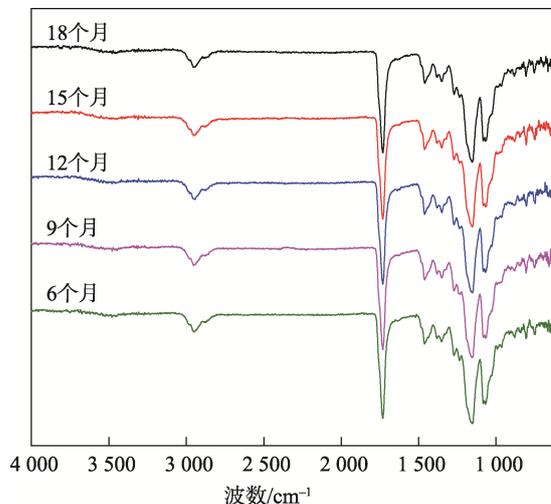


图 2 同一样品在不同储存时间下的红外谱图  
Fig.2 Infrared spectra of the same sample under different storage time

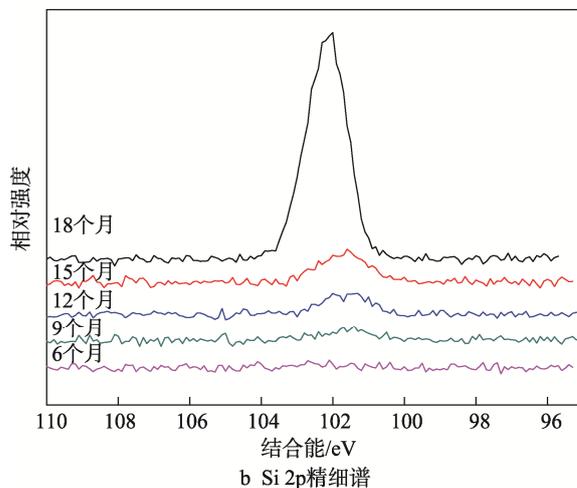
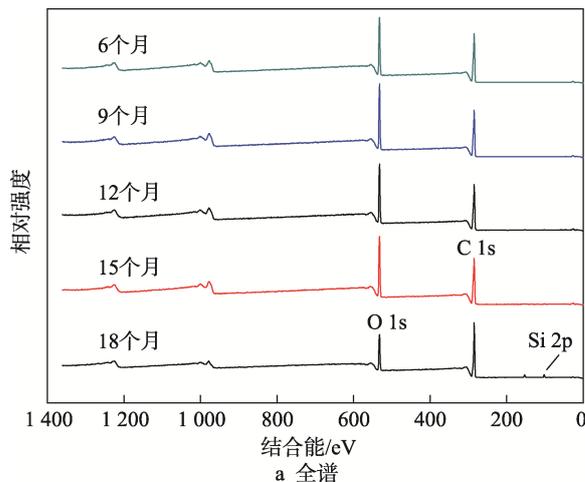


图 3 同一样品在不同储存时间下的 XPS 图  
Fig.3 XPS spectra of the same sample under different storage time

表4 同一样品在不同储存时间下的表面原子数分数  
Tab.4 Surface atomic fraction of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	原子数分数/%		
	Si	C	O
6	0	71.9	28.1
9	0.1	69.5	30.4
12	0.5	70.2	29.3
15	0.6	69.9	29.5
18	3.5	75.1	20.0

硅一部分来源于造纸过程,如硅藻土表面覆盖了大量的硅羟基,使其具有表面活性、吸附性和酸性,在造纸领域中常作为功能性造纸填料或涂料颜料<sup>[10-11]</sup>。为改善纸张印刷适应性,涂料中会加入比表面积较大且无色透明的硅溶胶( $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )<sup>[12]</sup>。此外,有机硅还作为制浆工段常用消泡剂的活性成分,用于消除造纸过程中的泡沫<sup>[13]</sup>。另外,由于喷铝转移纸张在加工过程中,为确保纸张的水分以及纸张平整度,往往会在纸张背面进行背涂锁水,喷铝转移纸实际存放方式为纸张背面与纸张正面堆叠放置,纸张表面会与其上一张的纸张背面涂层相接触。这种背面涂层一般使用的是水性丙烯酸涂料,在制备涂料时往往会使用含微量硅的防沉剂、有机硅消泡剂、有机硅润湿剂等<sup>[14]</sup>。

综上,喷铝转移纸在存放过程中,随着时间的增加,纸张中的硅含量和喷铝纸加工过程中水性背涂里面的硅含量逐步向纸张正面的转移涂层表面转移,造成有机硅富集,从而导致印刷掉墨。

## 2.6 涂层耐高温性能

转移涂层作为铝层的保护层起到隔离保护的作用,在后期的辐射模压、印刷工序中需经受温度、摩擦、溶剂环境,转移涂层需耐温、耐摩擦、耐溶剂侵蚀才能保护铝层的持久光亮、不起皱、不氧化<sup>[15]</sup>,因此,转移涂料对耐温性也会提出要求。当涂层耐温性较差时,瞬间的高温高压都会使纸张表面发白发雾,影响表现效果。笔者使用五点热封仪,测试储存6—18个月的样品的耐温性,测得数据见表5,所有样品耐温性均 $\geq 150^\circ\text{C}$ ,证明转移涂层的耐温性并未随着时间和硅含量的增大出现明显变化,不会影响成盒效果。

表5 同一样品在不同储存时间下的耐高温性能  
Tab.5 High temperature resistance of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	耐温性/ $^\circ\text{C}$
6	$\geq 150$
9	$\geq 150$
12	$\geq 150$
15	$\geq 150$
18	$\geq 150$

## 2.7 涂层耐溶剂性

转移涂层的耐溶剂性是另一个重要指标。当印刷油墨与耐溶剂性差的涂层接触时,涂层的表面结构会被溶剂侵蚀,既会影响纸张表面光泽性,又会导致脱墨现象。为了研究硅含量的增加对涂层的耐溶剂功能性是否发生影响,在温度为 $23^\circ\text{C}$ 、相对湿度为60%的环境下,使用棉棒蘸取乙酸乙酯,人工刮擦储存6—18个月的样品的表面涂层,观察涂层露底变白时的刮擦次数,刮擦次数越多证明转移涂层耐溶剂性越好,测得数据见表6。可以看出,不同储存时间下的样品刮擦次数均在5~7次,并没有出现明显的升高或降低现象,证明转移涂层的耐溶剂性并未随着时间变化而变化,硅含量的增加对涂层的耐溶剂性并未产生影响。

表6 同一样品在不同储存时间下的耐溶剂性  
Tab.6 Solvent resistance of the same sample under different storage time

样品储存时间/月	刮擦次数
6	6
9	5
12	6
15	7
18	6

## 3 结语

研究将储存时间为6个月、9个月、12个月、15个月、18个月的真空喷铝纸,通过实验对纸张表面转移涂层的油墨结合牢度、表面张力、涂层结合牢度、涂层耐温性和耐溶剂性进行测试,同时对比了涂层红外谱图和X射线光电子能谱(XPS)。

真空喷铝转移纸放置12个月时会出现表面张力降低到真空喷铝纸行业标准(BB/T 0054—2010)以下,放置18个月时出现大面积掉墨现象,但涂层牢度并未出现变化。主要原因为喷铝转移纸在存放过程中,随着时间的增加,纸张中的硅含量和喷铝纸加工过程中水性背涂里面的硅含量逐步向纸张正面的转移涂层表面转移,造成硅物质富集,形成有机硅低分子物质的弱界面层,降低了涂层的表面张力,并使其印刷适性变差。硅含量的增加并未影响纸张表面涂层的耐温性能、耐溶剂性。

基于该研究所得结论对真空喷铝转移纸产业化生产具有指导意义。真空喷铝转移纸在实际的使用过程中,建议在12个月之内及时印刷,避免出现印刷掉墨等质量问题。

## 参考文献:

- [1] 于贤保. 影响真空喷铝转移纸凹版印刷套印波动的因素浅析[J]. 印刷质量与标准化, 2019(3): 11-14.  
YU Xian-bao. Analysis of the Factors Affecting the Overprint Fluctuation of Vacuum Aluminum Spray Transfer Paper Gravure Printing[J]. Printing Quality & Standardization, 2019(3): 11-14.
- [2] 何简军. 喷铝转移纸常见质量问题及其产生原因和应对措施[J]. 印刷质量与标准化, 2016(6): 14-17.  
HE Jian-jun. Common Quality Problems of Aluminum Spray Transfer Paper, Their Causes and Countermeasures[J]. Printing Quality & Standardization, 2016(6): 14-17.
- [3] 陈洋. 真空喷铝转移纸印刷爆墨原因及分析[J]. 印刷质量与标准化, 2018(3): 28-30.  
CHEN Yang. Cause and Analysis of Ink Explosion in Vacuum Aluminum Spray Transfer Paper Printing[J]. Printing Quality & Standardization, 2018(3): 28-30.
- [4] 周明. 烟包印刷的现状与发展趋势浅析[J]. 印刷质量与标准化, 2009(6): 17-23.  
ZHOU Ming. Analysis on the Present Situation and Development Trend of Cigarette Package Printing[J]. Printing Quality & Standardization, 2009(6): 17-23.
- [5] 周乾. 浅谈 UV 胶印常见故障及解决方法[J]. 印刷质量与标准化, 2013(8): 53-55.  
ZHOU Qian. Common Faults and Solutions of UV Offset Printing[J]. Printing Quality & Standardization, 2013(8): 53-55.
- [6] 谢允斌. 真空镀铝转移纸涂层表面张力与印刷适性的关系[J]. 北京印刷学院学报, 2015, 23(4): 8-11.  
XIE Yun-bin. Relevant Study of the Printability with Surface Tension of Vacuum Plating Release Paper Coating[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2015, 23(4): 8-11.
- [7] 潘慧铭, 黄素娟. 表面、界面的作用与粘接机理(一)[J]. 粘接, 2003, 24(2): 40-45.  
PAN Hui-ming, HUANG Su-juan. Effect of Surface, Interface and Adhesion Principle (I)[J]. Adhesion in China, 2003, 24(2): 40-45.
- [8] 董海普. 烟包中转移镀铝纸与转移涂料[J]. 印刷杂志, 2005(6): 27-29.  
DONG Hai-pu. Transfer Aluminized Paper and Transfer Coating in Cigarette Package[J]. Printing Field, 2005(6): 27-29.
- [9] 王莉, 李瑞娟. 塑料薄膜印前电晕处理研究[J]. 印刷世界, 2012(9): 24-28.  
WANG Li, LI Rui-juan. Study on Corona Treatment of Plastic Film before Printing[J]. Print World, 2012(9): 24-28.
- [10] 孙德文, 宋宝祥. 硅藻土的理化特性及其在造纸领域的应用[J]. 中国造纸, 2010, 29(8): 65-71.  
SUN De-wen, SONG Bao-xiang. Diatomaceous Earth's Physico-Chemical Properties and Application in Papermaking[J]. China Pulp & Paper, 2010, 29(8): 65-71.
- [11] 许树成. 硅藻土开发应用与特性研究[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2000, 17(3): 29-31.  
XU Shu-cheng. A Study on the Specific Property and the Development of Diamite[J]. Journal of Fuyang Teachers College Natural Sciences, 2000, 17(3): 29-31.
- [12] 陈影, 韩卿, 王亚娟. 硅溶胶在纸张涂布与施胶中的应用研究[J]. 中国造纸, 2006, 25(5): 24-25.  
CHEN Ying, HAN Qing, WANG Ya-juan. Application of Colloid Silica in Surface Sizing and Coating[J]. China Pulp & Paper, 2006, 25(5): 24-25.
- [13] 董勇, 伍锦秀, 徐媚, 等. 制浆造纸工业用消泡剂的开发及应用进展[J]. 精细化工, 2021, 38(5): 898-906.  
DONG Yong, WU Jin-xiu, XU Mei, et al. Development and Application Progress of Defoamers for Pulp and Papermaking Industry[J]. Fine Chemicals, 2021, 38(5): 898-906.
- [14] 张博晓, 张培, 刘瑞清, 等. 水性丙烯酸涂料的制备及性能研究[J]. 胶体与聚合物, 2019, 37(4): 162-164.  
ZHANG Bo-xiao, ZHANG Pei, LIU Rui-qing, et al. Preparation and Properties of Waterborne Acrylic Coatings[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2019, 37(4): 162-164.
- [15] 王全顺. 烟包转移涂料研究进展[J]. 上海涂料, 2010, 48(4): 28-30.  
WANG Quan-shun. Research Development of Transfer Coatings for Cigarette Packing Material[J]. Shanghai Coatings, 2010, 48(4): 28-30.

责任编辑: 曾钰婷