

CNC-CTS 复合阴离子淀粉表面涂布剂对牛皮纸 印刷适性的影响

薛美贵¹, 莫东晓¹, 葛纪者², 邱赞业³, 陈春霞⁴, 李伟¹

(1. 东莞职业技术学院, 广东 东莞 523808; 2. 广东海富智能环保科技有限公司, 广东 东莞 523000;
3. 永发印务(东莞)有限公司, 广东 东莞 523000; 4. 国家纸制品质量监督检验中心, 广东 东莞 523808)

摘要: **目的** 采用改性环境友好型涂料对牛皮纸表面进行涂布, 以改善其水性油墨柔性版印刷效果。
方法 采用表面涂布法, 使用 15 μm 的线棒, 以 42 mm/s 的速度, 在牛皮纸表面均匀涂布纳米纤维素(CNC)复合壳聚糖(CTS)阴离子淀粉涂料, 然后对涂布前和涂布后的牛皮纸水性油墨的印刷适性进行对比分析。
结果 与未涂布牛皮纸相比, 涂布后牛皮纸的平滑度提高了约 28.6%, 光泽度提高了近 1 倍, 撕裂度提高了约 19.3%, 耐折度提高了约 15.2%, 吸水性由 196.2 g/m² 降至 174.2 g/m², 印刷图文的密度得到显著提高, 耐摩擦性较好, 同时还提高了牛皮纸的抗菌性。
结论 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料可以在不增加环境压力的情况下, 有效提高牛皮纸的撕裂度、耐折度等力学性能, 平滑度、光泽度等光学性能, 以及抗水性和抗菌性, 从而提高了印刷图文的印刷密度、耐摩擦性, 以及印刷品的抗霉菌能力。

关键词: 可降解; 牛皮纸; 改性涂料; 水性油墨印刷; 印刷适性

中图分类号: TS801.3; TS727+3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)21-0096-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.012

Effects of CNC-CTS Anionic Starch Surface Coating Agent on Printing Suitability of Kraft Paper

XUE Mei-gui¹, MO Dong-xiao¹, GE Ji-zhe², QIU Zan-ye³, CHEN Chun-xia⁴, LI Wei¹

(1. Dongguan Polytechnic, Guangdong Dongguan 523808, China; 2. Guangdong Hoi Fu Environment Technology Ltd., Guangdong Dongguan 523000, China; 3. Yongfa Printing Service (Dongguan) Co., Ltd., Guangdong Dongguan 523000, China; 4. National Center for Quality Supervision and Inspection of Paper Products, Guangdong Dongguan 523808, China)

ABSTRACT: The work aims to coat the kraft paper surface with modified environment-friendly coating agent to improve the flexible printing effect of water-based ink. With 15 μm rods, nanocellulose (CNC) and chitosan composite (CTS) anion starch coating agent was evenly coated on the kraft surface at 42 mm/s. The printing suitability of water-based ink printing on kraft paper before and after coating was compared. The results showed that the smoothness of the coated kraft paper increased by 28.6%. The gloss was nearly doubled. The resistance to tear was improved by 19.3%. The folding strength was improved by 15.2%. The water absorption was reduced from 196.2 g/m² to 174.2 g/m². The density of the printing pattern was apparently improved. The friction resistance was better. The antibacterial resistance of the kraft paper

收稿日期: 2022-01-18

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金联合基金(2019A1515110667); 广东省科技创新战略(培育)专项资金(pdjh2021b0905); 广东省普通高校重点科研平台项目(2021CJPT005)

作者简介: 薛美贵(1984—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为印刷、包装材料。

was also improved. CNC-CTS anion starch coating agent can effectively improve the mechanical properties of kraft paper, such as resistance to tear and folding strength, and optical properties, such as smoothness, gloss, and water resistance and antibacterial resistance, without increasing the pressure to the environment, thus improve the printing density and friction resistance of printing patterns and antibacterial resistance of printing product.

KEY WORDS: degradable; kraft paper; modification coating agent; water-based ink printing; printing suitability

牛皮纸具有坚韧、强度高、未经漂白处理等特点, 其外观色彩为能够吸引人的自然褐色, 目前受到越来越多的食品生产商、包装商和环保人士的青睐^[1-3]。然而, 与表面光亮、白洁的硫酸盐漂白卡纸相比, 牛皮纸为了保证其天然性、环保性, 一般不对其表面进行涂布处理, 所以纤维与纤维之间的孔隙率较大, 表面的平滑度较低, 在印刷时油墨的渗透性较强, 导致其对油墨色彩的再现性较差^[2]。目前, 常见的牛皮纸包装印刷品的色调较单一, 整体印刷质量不高, 远不能满足精美印刷品的需求, 尤其是近年来发展起来的水性油墨的印刷效果(如印刷密度、油墨层的耐摩擦性等)更有待提高^[4]。目前, 关于牛皮纸水性油墨印刷性能的改善问题还未引起足够的重视, 还未见相关报道。

纸张的印刷适性即正常印刷要求纸张应具有的性能, 包括以下几方面: 保证印刷生产正常运行的性能, 如纸(纸板)的耐折度、表面强度、耐撕裂度等力学性能; 为了获得预期印刷效果, 纸(纸板)应具备的性能, 如平滑度、光泽度、油墨吸收性等。为了改善牛皮纸水性油墨的印刷适性, 在不改变牛皮纸原有环保特性的情况下, 实现牛皮纸包装的精美印刷效果, 需要采用环保型涂料对牛皮纸进行改性处理, 以提高其印刷适性。

淀粉是目前纸张改性常用的涂料和施胶剂, 它在自然界中的储量较丰富、降解性能良好, 且具有较好的黏性和成膜性, 但因它具有半晶体性质, 其成膜的力学性能较差^[5-9]。纳米纤维素由自然界中分布最广、储量最丰富的可再生资源——纤维素制备, 其直径为 1~100 nm, 结晶度较高, 长径比较大, 表面的羟基较丰富, 具有比表面积大、可再生、生物相容性好、密度低、强度高、可生物降解、原料来源广等特点。纤维素的特性和应用方式的不同会带来某些性能上的差异, 使得纳米纤维素在不同纸基功能材料中的应用成为新材料研究的热点^[10-12]。壳聚糖是一种天然的氨基多糖, 可以与表面羟基丰富的纳米纤维素形成稳定的体系, 且具有良好的抑菌性、成膜性和生物降解性等^[13], 但是其成膜存在吸湿性强、力学性能较弱等缺点。文中采用纳米纤维素(CNC)复合壳聚糖和阴离子淀粉制备环境友好型涂料, 对牛皮纸表面进行改性涂布, 并对涂布后牛皮纸的平滑度、光泽度、耐折度、耐撕裂度、抗水性、印刷图文密度、油墨层的耐摩擦性等印刷适性进行分析, 以期对牛皮纸水性油墨印刷适性的改善提供一定的理论依据和数据参考。

1 实验

1.1 仪器与材料

主要仪器和设备: BEVS 181/2 全自动涂膜仪, 广州市盛华实业有限公司; JSM-IT500 扫描电子显微镜(SEM), 日本电子株式会社(JEOL); IGT-F1 柔性版印刷适性仪, 荷兰测试系统公司; YT-GM 多角度光泽度测定仪, 杭州研特科技有限公司; YT-BST 电子式无汞纸张平滑仪, 杭州研特科技有限公司; YT-N-135WIT 耐折度测定仪, 杭州研特科技有限公司; DCP-SLY1000 电脑测控纸张撕裂度仪, 四川长江造纸仪器有限责任公司; eXact 标准版分光密度计, 爱色丽 Xrite(上海)色彩科技有限公司; MCJ-43 摩擦试验机, 中建材智能自动化研究院有限公司; YQ-Z-100 表面吸收重量测定仪, 杭州轻工检测仪器厂; DF-101S 恒温加热搅拌器, 上海凌科实业发展有限公司; FA2004B 电子天平, 北京印联; ESB-500X(500 W, 28 000 r/min) 匀质机, 上海易勒机电设备有限公司; NDJ-8S 数字式黏度计, 上海绩泰电子科技有限公司。

主要材料和试剂: 牛皮纸, 定量为 156 g/m², 厚度为 290 μm, 当地造纸厂家; 水性油墨, 黑色, 黏度为 10~15 s, 着色力为 98%, 细度为 10 μm, 流动度 ≥ 20 mm, pH 值为 8.5~9, 广东英科集团股份有限公司; 羧基化纤维素纳米晶须(C-CNC), 直径为 4~10 nm, 长度为 100~500 nm, 桂林奇宏科技; 阴离子淀粉(PS-268), 广西农垦明阳生化集团股份有限公司; 壳聚糖(CTS), 黏度 < 200 mPa·s, (C₆H₁₁NO₄)_n, 麦克林试剂; 冰醋酸, 纯度为 99%, 天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料的制备

首先, 取 1 g 壳聚糖, 通过搅拌使其溶于体积分数为 2% 的醋酸溶液, 然后用 NaOH 调节至中性, 配制成壳聚糖溶液; 以速度 28 000 r/min 将 2 g C-CNC 匀质 5 min, 使其均匀分散到 100 mL 壳聚糖溶液中, 得到 CNC-CTS 溶液; 将 20 g 阴离子淀粉加入 100 mL CNC-CTS 溶液中, 经搅拌均匀后水浴加热, 在 75 °C 时开始搅拌, 直到 95 °C, 然后采用恒温加热方式进行糊化, 直到黏度达到 2 500~2 800 mPa·s, 得到 CNC-CTS 淀粉涂料。

1.3 牛皮纸的涂布与表征

将制备好的 CNC-CTS 淀粉涂料, 采用全自动涂膜仪, 使用 15 μm 线棒, 以 42 mm/s 的速度, 均匀涂布在牛皮纸的表面 (1 次), 待涂层干燥后, 将涂布牛皮纸置于恒温、恒湿条件下储藏, 备用。

将涂布前和涂布后的牛皮纸, 分别裁切成 5 mm×5 mm 的纸片贴于导电胶上, 经喷金处理后采用 SEM 对其表面进行测试分析。对侧面使用氩离子抛光处理后, 进行 SEM 分析。

1.4 牛皮纸印刷适性测定实验

1.4.1 光学性能测定

按照 GB/T 8941—2013《纸和纸板 镜面光泽度的测定》, 使用多角度光泽度测定仪 (入射光角度为 60°) 对涂布前和涂布后的牛皮纸进行测量, 在每个测试样的 7 个不同位置分别进行测量, 取其平均值, 得到光泽度值。

按照 GB/T 456—2002《纸和纸板 平滑度的测定 (别克法)》, 使用电子式无汞纸张平滑仪 (挡位为 15~300 s), 对涂布前和涂布后的牛皮纸进行测量, 在每个测试样的 7 个不同位置分别测量, 取平均值, 得到平滑度值。

1.4.2 力学性能测定

按照 GB/T 457—2008《纸和纸板 耐折度的测定》的 MIT 法, 对涂布前、阴离子淀粉涂布、CNC-CTS 阴离子淀粉涂布牛皮纸分别各取 5 个平行样, 使用 WIT 耐折度测定仪进行测量, 取 5 个测量值的平均值, 得到各测试样的耐折度值。

按照 GB/T 455—2002《纸和纸板 撕裂度的测定》, 对涂布前、阴离子淀粉涂布、CNC-CTS 阴离子淀粉涂布牛皮纸分别各取 5 个平行样, 使用电脑测控纸张撕裂度仪进行测量, 取 5 个测量值的平均值, 得到各测试样的耐撕裂度值。

1.4.3 吸水性测定

使用表面吸收重量测定仪, 按照 GB/T 1540—2002

《纸和纸板 吸水性的测定 (可勃法)》, 在一定条件下、规定的时间内, 测量单位面积 (100 cm^2) 未涂布牛皮纸和涂布牛皮纸表面所吸收水的质量。按照式 (1) 分别计算牛皮纸涂布前和涂布后的吸水性。

$$A = \frac{m_a - m_b}{100} \quad (1)$$

式中: A 为吸水性, g/m^2 ; m_a 为吸水后的质量, g ; m_b 为吸水前的质量, g 。

1.5 印刷及效果表征实验

1) 使用黑色水性油墨, 在印刷压力为 300 N、印刷速度为 0.6 m/s 的条件下, 分别在涂布前和涂布后的牛皮纸上进行印刷, 得到图案均匀的印刷样张。

2) 使用摩擦试验机, 在载荷为 20 N 的条件下, 以 43 次/min 的速度, 分别对涂布前和涂布后牛皮纸印刷样张的印刷图案进行摩擦处理。

3) 分别选取摩擦前和摩擦后印刷样张中印刷图案的 5 个点, 使用爱色丽分光密度计进行测量分析, 得到摩擦前和摩擦后印刷图案的密度值。

2 结果与分析

2.1 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料抗菌性分析

为了模拟再现牛皮纸印刷品在正常使用条件下的情况, 此次实验在室温条件下对 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料的抗菌性进行了分析, 并以阴离子淀粉涂料为对比样, 结果如图 1 所示。

从图 1 可以发现, 阴离子淀粉涂料在第 6 天时出现了霉菌, 一直到第 10 天时霉菌面积持续增大, 与对比样相比, CNC-CTS 阴离子淀粉涂料在放置 10 d 后, 仍然未出现明显的霉变现象, 说明 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料有较好的抗菌性能。这可能与涂料中 CTS 具有较好的抑菌性有关, 所以将 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料用作牛皮纸涂料, 可以增强牛皮纸包装印刷品的抗霉菌能力。

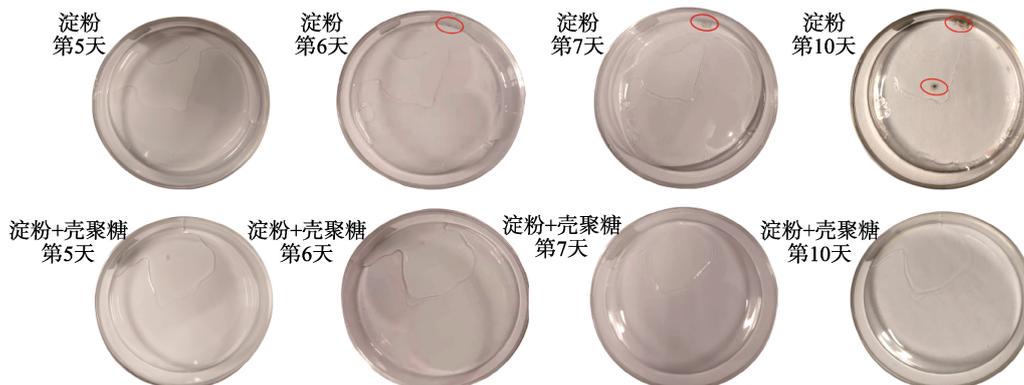


图 1 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料的抗菌性

Fig.1 Antibacterial resistance of CNC-CTS anionic starch coating

2.2 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料 SEM 分析

对涂布前和涂布后牛皮纸的正面和侧面采用扫描电子显微镜 (SEM) 进行分析, 得到的形貌特征如图 2—4 所示。

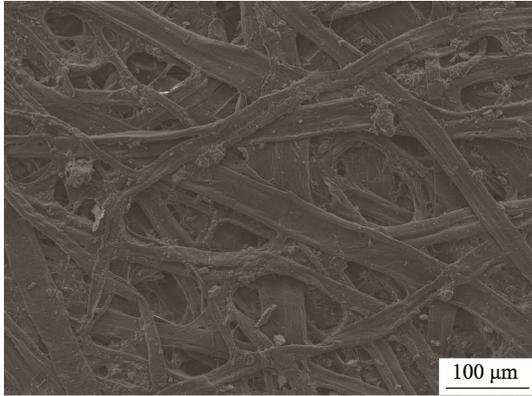


图 2 未涂布牛皮纸 SEM 图
Fig.2 SEM image of uncoated kraft paper

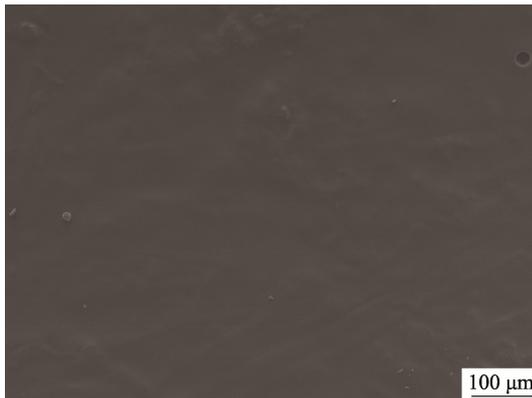


图 3 涂布牛皮纸正面 SEM 图
Fig.3 Front SEM image of coated kraft paper

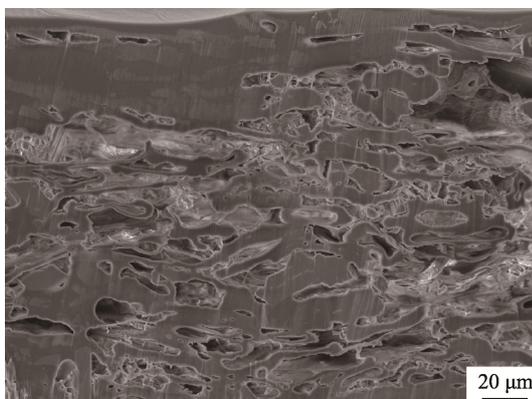


图 4 涂布牛皮纸侧面 SEM 图
Fig.4 Side SEM image of coated kraft paper

从图 2 可以发现, 在涂布前牛皮纸的表面存在清晰的纤维与纤维交叉形成的孔隙, 其表面粗糙。从图 3 可以发现, 在涂布后涂料均匀地附着在纸张表

面, 表面所有的孔隙均已被填满, 其表面平整。从图 4 可以发现, 上层表面有涂布的地方的部分涂料已渗入纤维与纤维之间的孔隙中, 并且涂料层的厚度均匀, 无涂料渗入的下层部位仍存在大量的孔隙结构。

观察图 2—4 的形貌可知, CNC-CTS 阴离子淀粉涂料的流平性较好、黏度适中、成膜性较好、涂布效果良好。

2.3 涂布牛皮纸印刷适性分析

2.3.1 光学性能分析

在涂布前和涂布后, 牛皮纸的光泽度和平滑度测量数据如图 5 所示。

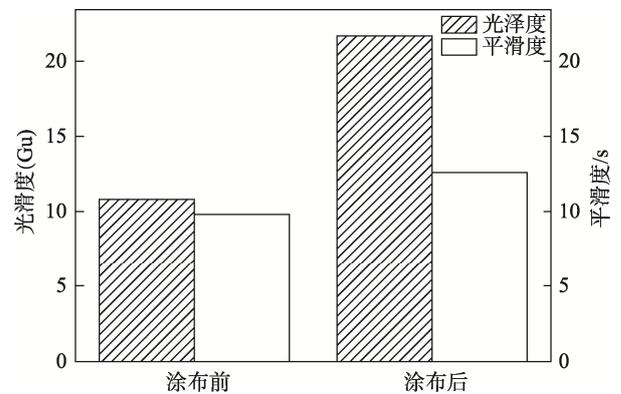


图 5 涂布前、后牛皮纸表面光泽度和平滑度情况
Fig.5 Surgloss and smoothness of kraft paper before and after coating

对图 5 的数据进行分析发现, 在涂布后牛皮纸的光泽度提升了近 1 倍, 平滑度增加了约 28.6%。说明涂料可以大幅改善牛皮纸表面的光学性能, 这与图 2 中 SEM 图所表征的涂料均匀涂布在纸张表面的结论一致。同时, 光学性能的改善使牛皮纸的包装装潢效果得到提升, 进而使牛皮纸用于高档、精美包装成为可能。

2.3.2 力学性能分析

未涂布、阴离子淀粉涂布、CNC-CTS 阴离子淀粉涂布牛皮纸的耐折和耐撕裂情况如图 6 所示。从图 6 可以发现, 涂布后牛皮纸的耐折度和耐撕裂度都分别得到不同程度的提高。其中, CNC-CTS 阴离子淀粉涂布牛皮纸的性能高于阴离子淀粉涂布牛皮纸的性能。与未涂布牛皮纸相比, 使用 CNC-CTS 阴离子淀粉涂布的牛皮纸的耐折度提升了约 15.2%, 耐撕裂度提高了约 19.3%。表明 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料可以较好地改善牛皮纸的力学性能, 增强牛皮纸在印刷生产过程中的抗折性和耐撕裂性。这可能是由 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料中纳米纤维素本身的高强度所致^[12], 另外, 纳米纤维素表面丰富的羟基与壳聚糖表面的氨基发生了键合作用, 使得淀粉内部的结合

力增大,当涂料渗入牛皮纸纤维孔隙中时,纤维与纤维,纤维与淀粉,以及淀粉内部的结合力均增大,这也会增强纤维与纤维之间的黏合作用,进而提高牛皮纸的耐折度和耐撕裂度,这与已有的研究结果相符^[14-15]。

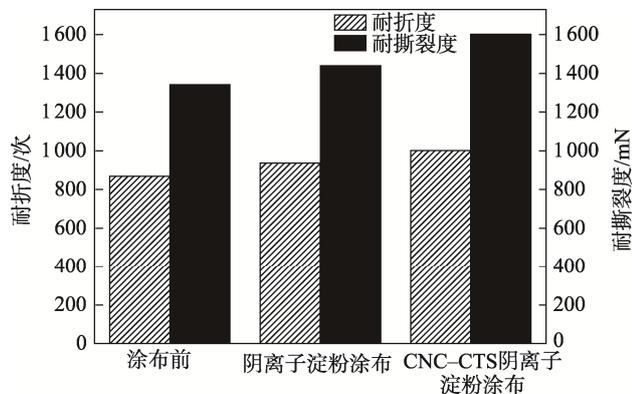


图6 涂布前和涂布后牛皮纸的耐折和耐撕裂情况
Fig.6 Folding strength and resistance to tear before and after coating

2.3.3 抗水性分析

对牛皮纸涂布前和涂布后的吸水性进行了测量,得到的数据如图7所示。

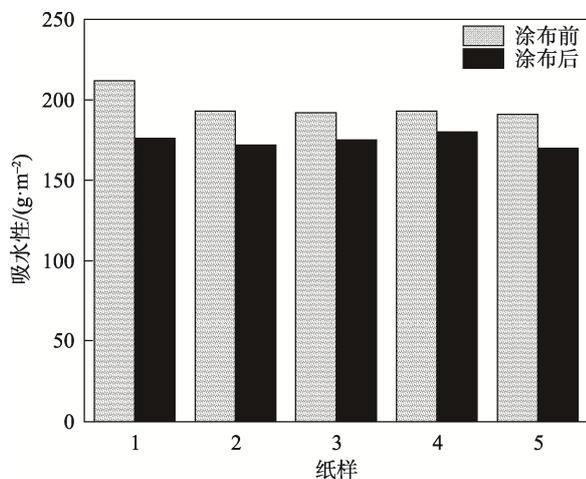


图7 涂布前和涂布后牛皮纸的吸水性
Fig.7 Water absorption of kraft paper before and after coating

从图7可以发现,在涂布后牛皮纸的吸水性显著降低,说明其抗水性增强。这可能是由 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料的疏水性所致,与已有实验结果相吻合^[16-17]。

2.3.4 印刷效果分析

目前,由于牛皮纸印刷产品的图案多为实地、单色印刷,尤其是黑色的印刷需求较多,同时考虑到油墨的印刷适性仅与连结料有关,与色料的颜色无关,所以此次实验仅选用黑色油墨进行印刷。黑色水性油墨印刷在涂布前和涂布后牛皮纸上的对比效果如图8

所示。从图8可以发现,涂布后牛皮纸的印刷图案的颜色饱和度、光泽度都明显高于未涂布牛皮纸的。

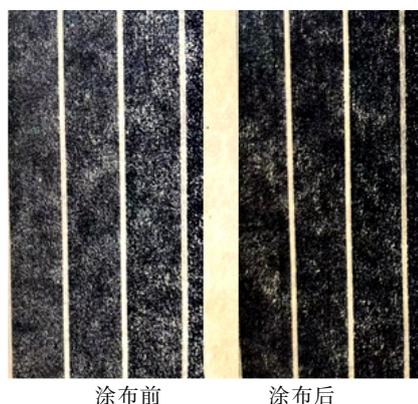


图8 涂布前和涂布后的印刷效果对比
Fig.8 Comparison of print effect before and after coating

同时,对图8中的印刷区域采用分光密度计进行了测量,得到了印刷图案的印刷密度情况,如图9所示。通过对图9进行分析可以发现,涂布后牛皮纸的印刷密度明显高于涂布前牛皮纸的印刷密度,主要原因在于 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料具有良好的流平性和成膜性,它改善了牛皮纸的平滑度和光泽度,从而提高了印刷图案的印刷密度。另一方面,具有疏水性的涂料均匀涂布在牛皮纸表面,增强了其抗水性,进而提高了其对水性油墨的色彩呈现力。

从图9中还可以发现,摩擦后和摩擦前涂布牛皮纸印刷图案的印刷密度差别不大,说明印刷油墨与涂层的附着力较好,使得印刷图文的耐摩擦性较强。

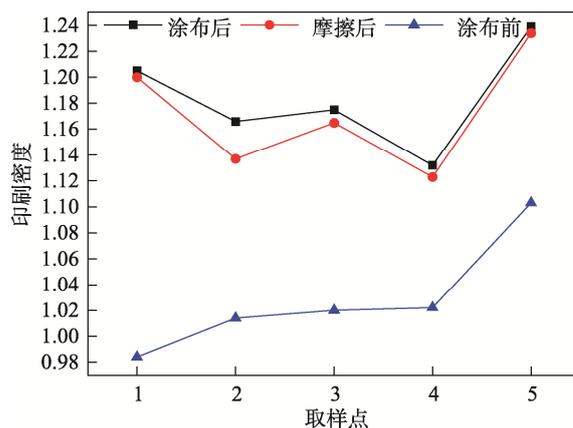


图9 涂布前和涂布后牛皮纸水性油墨印刷图案的密度对比情况
Fig.9 Density of water-based ink printing pattern on kraft paper before and after coating

3 结语

采用 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料对牛皮纸进行涂布,在涂布后牛皮纸的光学性能(平滑度和光泽度)、

力学性能(耐折度和耐撕裂度)、抗水性均有所改善,其中对光学性能的改善效果较为明显,尤其是光泽度提高了近1倍。

CNC-CTS 阴离子淀粉涂料中各成分的原料均为可再生天然聚合物,是一种环境友好型涂料,在不增加环境压力的同时,对牛皮纸水性油墨的印刷效果有较大的改善作用,并增添了牛皮纸包装的抗霉菌功效。

综上所述,使用 CNC-CTS 阴离子淀粉涂料对牛皮纸进行涂布改性,有望使牛皮纸水性油墨印刷产品用于高档、精美产品的包装。

参考文献:

- [1] 印刷工业杂志社. Smithers 市场研究报告——麻布和牛皮纸包装袋的市场新机遇[J]. 印刷工业, 2020, 15(6): 12-13.
Printing Industry Magazine. Smithers Market Research Report — New Market Opportunities for Linen and Kraft Paper Packaging Bags[J]. Print China, 2020, 15(6): 12-13.
- [2] 成群. 个性与强度的综合: 牛皮纸包装——非漂白卡纸用作食品包装的印刷技巧[J]. 印刷杂志, 2005(9): 67-68.
CHENG Qun. Synthesis of Personality and Strength: Kraft Paper Packaging-Printing Skills of Unbleached Cardboard Used as Food Packaging[J]. Printing Field, 2005(9): 67-68.
- [3] 朱星蓉. 牛皮纸包装设计的趣味性——以霍州年馍包装为例[D]. 临汾: 山西师范大学, 2018: 1.
ZHU Xing-rong. The Interest of Kraft Packaging Design — Taking Huozhou Annual Steamed Bread as an Example[D]. Linfen: Shanxi Normal University, 2018: 1.
- [4] 陈春霞, 余裕娟, 赵俭, 等. 环保型水性油墨柔版印刷墨色呈色效果分析[J]. 造纸科学与技术, 2018, 37(6): 70-77.
CHEN Chun-xia, YU Yu-juan, ZHAO Jian, et al. Analysis on Colorimetric Results for Flexographic Printing with Water-Based Ink[J]. Paper Science & Technology, 2018, 37(6): 70-77.
- [5] DAVIS G, SONG J H. Biodegradable Packaging Based on Raw Materials from Crops and Their Impact on Waste Management[J]. Industrial Crops and Products, 2006, 23(2): 147-161.
- [6] BISWAS K, KHANDELWAL V, MAITI S N. Mechanical and Thermal Properties of Teak Wood Flour/Starch Filled High Density Polyethylene Composites[J]. International Polymer Processing, 2019, 34(2): 209-218.
- [7] ACKAR D, BABIC J, JOZINOVIĆ A, et al. Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives: A Review[J]. Molecules, 2015, 20(10): 19555-19570.
- [8] AHMAD M, MUDGIL P, GANI A, et al. Nano-Encapsulation of Catechin in Starch Nanoparticles: Characterization, Release Behavior and Bioactivity Retention during Simulated *in-Vitro* Digestion[J]. Food Chemistry, 2019, 270: 95-104.
- [9] FAZELI M, FLOREZ J P, SIMÃO R A. Improvement in Adhesion of Cellulose Fibers to the Thermoplastic Starch Matrix by Plasma Treatment Modification[J]. Composites Part B: Engineering, 2019, 163: 207-216.
- [10] TYAGI P, HUBBE M A, LUCIA L, et al. High Performance Nanocellulose-Based Composite Coatings for Oil and Grease Resistance[J]. Cellulose, 2018, 25(6): 3377-3391.
- [11] 刘仁, 鲁鹏, 吴敏, 等. 纳米纤维素在气体阻隔包装材料中的应用进展[J]. 包装工程, 2019, 40(7): 51-59.
LIU Ren, LU Peng, WU Min, et al. Application Progress of Nano-Cellulose in Gas Barrier Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(7): 51-59.
- [12] VAN DEN BROEK L A M, KNOOP R J I, KAPPEN F H J, et al. Chitosan Films and Blends for Packaging Material[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 116: 237-242.
- [13] KUMAR V, KOPPOLU V R, BOUSFIELD D, et al. Substrate Role in Coating of Microfibrillated Cellulose Suspensions[J]. Cellulose, 2017, 24(3): 1247-1260.
- [14] 王营超, 贺会利, 王强, 等. 纤维素纳米晶体提高箱纸板强度性能的研究[J]. 中国造纸, 2020, 39(12): 18-25.
WANG Ying-chao, HE Hui-li, WANG Qiang, et al. Improving the Strength Properties of Liner Board by Cellulose Nanocrystal[J]. China Pulp & Paper, 2020, 39(12): 18-25.
- [15] MATSUI K N, LAROTONDA F D S, PAES S S, et al. Cassava Bagasse-Kraft Paper Composites: Analysis of Influence of Impregnation with Starch Acetate on Tensile Strength and Water Absorption Properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 55(3): 237-243.
- [16] 汪钰文, 李亚娜, 林勤保, 等. 热塑性淀粉/高密度聚乙烯复合材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 62-68.
WANG Yu-wen, LI Ya-na, LIN Qin-bao, et al. Preparation and Properties of Thermoplastic Starch/High Density Polyethylene Composite Materials[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(21): 62-68.
- [17] 李成卓. 可聚合淀粉的制备及其疏水性能研究[J]. 纺织科学与工程学报, 2019, 36(3): 28-31.
LI Cheng-zhuo. Preparation and Hydrophobic Properties Research of Polymerizable Starch[J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2019, 36(3): 28-31.