

第15届全国包装工程学术会议专栏

缓蚀型玉米秸秆纤维发泡包装材料的研究

王彤¹, 钱怡^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 国家轻工业包装制品质量监督检测中心, 无锡 214122)

摘要: **目的** 制备并研究缓蚀型玉米秸秆纤维发泡包装材料的性能。 **方法** 以廉价环保易得的玉米秸秆纤维、废纸纤维和气相缓蚀剂为原料, 添加适量的成膜剂、胶黏剂、发泡剂、交联剂等, 以微波发泡的方式制备玉米秸秆纤维缓蚀缓冲包装材料。对材料的静态缓冲性能进行测试分析, 得到此缓冲材料缓冲性能的基本特征, 通过密闭空间定量评价方法对材料的缓蚀性能进行测定。 **结果** 微波发泡不仅使材料存在较多的储能空间而且缓蚀效果增强, 添加由二甲基咪唑啉、尿素和硼砂以质量比4:1:2复配的缓蚀剂后, 发泡材料的缓蚀效果可达90%以上, 而不添加缓蚀剂的纤维发泡材料会加速金属腐蚀。 **结论** 此发泡材料具有良好的缓冲性能与缓蚀性能, 基于目前的研究进展, 提出了通过改变发泡剂和粘合剂用量达到对缓蚀剂进行控释的构想。

关键词: 玉米秸秆纤维; 气相缓蚀剂; 缓冲材料; 纤维发泡材料

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0001-05

Corrosion-inhibiting and Cushioning Packaging Materials of Corn Straw Stalk Fiber

WANG Tong¹, QIAN Yi^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. China National Control and Test Center for Packaging Quality, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: To prepare and study a new type of environment friendly volatile corrosion inhibition (VCI) packaging material and its characteristics. The light, environment friendly and inexpensive waste paper fiber, corn straw stalk fiber and volatile corrosion inhibitor were chosen as raw materials. After addition of appropriate amount of film-forming agent, adhesive, foaming agent and crosslinker, the corrosion-inhibiting and cushioning packaging material of corn straw stalk fiber was produced using the microwave foaming method. The static cushioning properties of the material was tested and analyzed in order to get the basic cushioning characteristics of the cushioning materials. The corrosion inhibition ability was tested by the confined space quantitative evaluation method. Microwave foaming did not only provide the material with more storage space, but also enhanced the corrosion inhibition properties. After addition of corrosion inhibitor made of PDMBI, carbamide and borax compounded with the ratio of 4:1:2, the corrosion inhibition rate of the foaming fiber materials reached more than 90%, while the fiber foaming material without VCI accelerated metal corrosion. The foamed material had good cushioning and corrosion inhibition properties. In addition, based on the research progress, this paper put forward that the release of corrosion inhibitor might be controlled by changing the dosage of foaming agent and adhesive.

KEY WORDS: corn stalk fiber; volatile corrosion inhibitor; cushioning material; fiber foam material

随着我国装配、电子行业的快速发展及金属制品产量的快速增加, 在生产、运输、贮存等环节中出現锈蚀损坏的问题日益突出, 这给国民经济造成巨

大损失^[1-3]。根据被包装物结构尺寸、材质、储运条件、防护要求、可靠性和启封使用要求的不同, 有时仅靠一种技术不能达到防锈防护的要求, 因此可能需要多

收稿日期: 2014-11-03

作者简介: 王彤(1989—), 女, 满族, 黑龙江齐齐哈尔人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装研究方向。

通讯作者: 钱怡(1962—), 女, 硕士, 江南大学副教授, 主要研究方向为运输包装、包装材料与结构。

种技术组合使用^[4]。气相缓蚀剂可施加到纸、缓冲材料等不同载体材料中形成各种气相防锈材料,具有使用清洁、不接触防锈等特点,因而被广泛应用于工业品储运防锈和装备器材长期封存^[5]。在金属制品运输过程中,除对防锈有严格要求的制品外,一些有表观要求的制品还需满足缓冲包装的防护要求,以前采用不同材料和操作方法来达到此要求。为了减少材料消耗和提高操作效率,结合气相防锈、塑料加工和高分子材料加工等新技术,产生了一类新型气相防锈包装材料——气相防锈缓冲材料^[6]。随着石油资源的减少,研究取代EPS缓冲包装材料已成为当前包装材料的热点,所以研究绿色环保植物纤维发泡材料具有重大意义^[7]。研究防锈封存技术,以及封存技术的组合化和包装轻量化、材料多功能化、效果可视化等都值得关注^[8]。由此,文中研究以植物纤维发泡缓冲材料作为载体的气相缓冲材料,在保护金属表面不受冲击的同时可以防止大气腐蚀。

1 实验

1.1 材料

1.1.1 气相缓蚀剂的选择

气相缓蚀剂的种类繁多,主要分为复合配方型和单组分型缓蚀剂。复配型气相缓蚀剂具有协同效应,该协同效应大于单独使用每种气相缓蚀剂时缓蚀效果的简单相加,是各成分相互促进的结果^[9]。文中选用针对45#钢的无毒或低毒气相缓蚀剂,通过将有机缓蚀剂与无机缓蚀剂进行复合配方,根据蒸汽压的大小及试剂的可获得性和经济性原则,选择二甲基咪唑啉、尿素和硼砂以质量比4:1:2进行复配^[10]。

1.1.2 纤维的选择

以植物纤维作支撑的缓冲包装材料,除了应具有可降解、可再生的环保特性外,其结构形态和缓冲性能更重要^[11]。为了充分利用资源,综合不同种类纤维的特点,以废旧瓦楞纸板、玉米秸秆纤维为原材料,其制作过程为:把废旧瓦楞纸板撕碎,以一定比例与秸秆纤维混合浸泡于水中十几个小时,然后捞起放入打浆机中再一次捣碎直到成浆体,滤干至一定含水率即可。

1.1.3 发泡剂的选择

发泡剂的用量从根本上决定了反应过程中产生气体的多少。当发泡剂的用量较少时,材料的硬度较

高,但缓冲性能较低。随着发泡剂用量的增加,材料硬度下降,缓冲性能上升,但气体过多时会形成大气泡,容易造成发泡不良、制品内陷等缺陷^[12]。文中采用碳酸氢铵和碳酸氢钠按一定比例混合进行发泡。

1.1.4 仪器及设备

实验仪器与设备:小太阳TM-767II打浆机、恒温水浴、微波炉、恒温恒湿箱、万能材料试验机。

1.2 设计

文中采用微波发泡^[13]的方式制备材料,该方式能使材料均匀受热,从而提高材料的综合性能。具体的制备方法为:首先配制一定浓度的淀粉和聚乙烯醇溶液,然后将经过NaOH溶液预处理的纤维浆料与配制好的淀粉溶液、聚乙烯醇溶液混合均匀,并加入一定量丙三醇、碳酸氢钠、碳酸氢铵、碳酸钙等助剂后搅拌均匀,然后以质量比4:1:2加入二甲基咪唑啉、尿素和硼砂,并继续搅拌2 min,再将混合浆料从搅拌容器中取出,放置于发泡模具中,轻压上表面至平整,经微波加热10 min后,转入恒温干燥箱内干燥至恒重,即得缓蚀型纤维发泡材料,流程见图1。

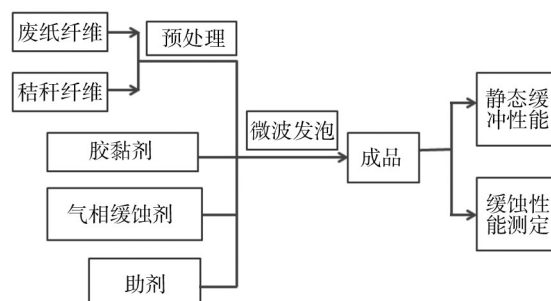


图1 气相缓蚀缓冲材料制作流程

Fig.1 Flowchart for preparation of volatile corrosion-inhibiting and cushioning material

材料制成后进行缓蚀性能的测试,缓蚀性能是通过缓蚀率的大小来体现,缓蚀率可通过腐蚀速率来计算,公式为^[14]:

$$v = \frac{8.76 \times 10^7 \times (m - m_1)}{St\rho} \quad (1)$$

式中: v 为腐蚀速率(mm/a); m 为试验前的试样质量(g); m_1 为试验后的试样质量(g); S 为试样的总面积(cm^2); t 为试验时间(h); ρ 为材料的密度(kg/m^3)。

缓蚀率与腐蚀速率的关系为^[14]:

$$\mu = \frac{v_0 - v}{v_0} \quad (2)$$

式中: μ 为缓蚀率; v_0 为未加入缓蚀剂时金属的腐

蚀速率(mm/a); v 为加入缓蚀剂时金属的腐蚀速率(mm/a)。

由式(2)可以看出,腐蚀速率是通过失重法进行确定的,所以要确定合适的除锈剂配方才可以得到质量的差值。根据GB/T 16545—1996,除锈剂混合溶液由200 mL盐酸(分析纯)、10 g六亚甲基四胺(分析纯)、1000 mL水组成。使用标准除锈剂处理生铁片后的效果见图2,由图2可知,锈斑完全被清除,整体表面状态与空白试样基本一致,在腐蚀产生的区域会留下极少量点状斑坑。

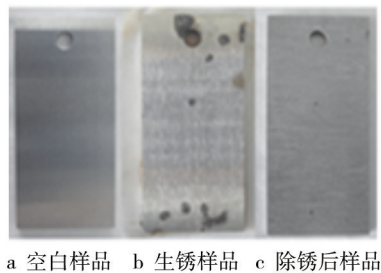


图2 生锈铁片处理对比

Fig.2 Rust cleaning results

由于要快速验证材料的缓蚀性能以及对不同材料的缓蚀性能进行对比,所以采用密闭空间定量评价方法^[15]。根据文献^[8]的评价装置,为了更真实地模拟缓蚀材料对金属的保护作用,确定该实验的评价装置见图3a。空白试验的平均失重为0.0281 g,平均腐蚀速率为0.8429 mm/a,腐蚀后空白试验试片腐蚀形貌对比见图4。将缓蚀评价装置进行优化,见图3b,优化后实验装置的空白试验腐蚀速率更高,更有利于对材料进行评估。

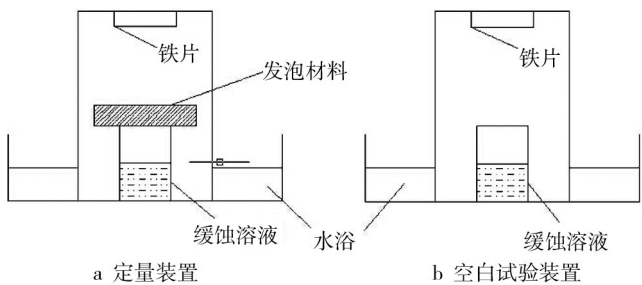


图3 定量装置及空白试验装置示意

Fig.3 Test device and blank test device

2 结果

取纸与玉米秸秆混合纤维20 g,混合发泡剂1.5 g,胶黏剂2.5 g,复配型缓蚀剂7 g进行微波发泡,干燥后

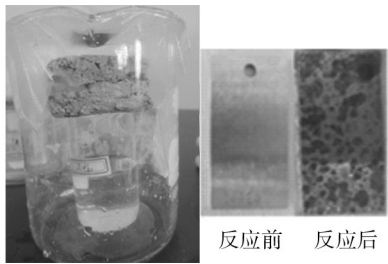


图4 定量评价装置及空白试验腐蚀形态照片

Fig.4 Test device and blank test corrosion morphology

的材料样品见图5。由图5可知,材料表面有明显的气孔分布,四周气孔分布多且较均匀,但是气孔大小不均匀。

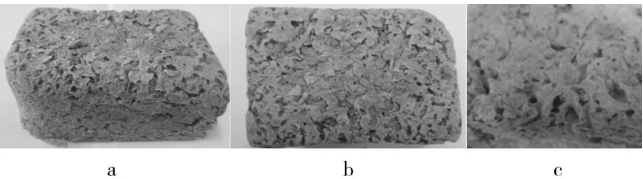


图5 纤维材料

Fig.5 Appearance of the fiber material

对材料进行缓蚀性能和力学性能测试。首先,分别对不同含量气相缓蚀剂进行缓蚀性能评价,分别选取配方1(二甲基咪唑啉1 g、尿素0.25 g和硼砂0.5 g)和配方2(二甲基咪唑啉4 g、尿素1 g和硼砂2 g)。然后,分别对不同含量气相缓蚀剂配方的发泡前浆料进行缓蚀性能评价。最后,分别对不同含量气相缓蚀剂配方的发泡材料进行缓蚀性能评价,结果见图6,实验数据见表1。

观察图6中各试片的腐蚀情况,通过与空白试验的试片腐蚀情况进行对比,可以看出所选定的缓蚀剂配方的缓蚀效果很明显。从不同配方的腐蚀程度来看,配方2优于配方1,由此可知随着缓蚀剂含量的增大,缓蚀效果越好。对比纯缓蚀剂、发泡前浆料及发泡后材料的缓蚀效果,发现发泡材料的缓蚀效果好于纯缓蚀剂的,纯缓蚀剂的缓蚀效果好于发泡前浆料的。其原因是纤维本身是多孔结构,加入发泡剂制成发泡材料后,材料有很多气孔,气相缓蚀剂吸附在多孔结构上,可以增加气相缓蚀剂的挥发速度,增强缓蚀效果,所以发泡纤维材料的缓蚀效果最佳。缓蚀浆料中含有粘合剂,粘合剂的透气性较差,气相缓蚀剂在粘合剂中不易挥发,所以缓蚀效果较差。从腐蚀形态来看,图6d与图6e中浆料的腐蚀形态呈片状,图6b、图6c、图6f、图6g中试验铁片的腐蚀形态呈点状,主要是因为浆料中的气相缓蚀挥发不

表 1 腐蚀数据
Tab.1 Corrosion rate data

编号	平均失重/g	平均腐蚀速率/(mm·a ⁻¹)	缓蚀率/%	硼砂/g	尿素/g	二甲基咪唑啉/g
b	0.0043	0.1290	0.8469	0.5	0.25	1
c	0.0029	0.0870	0.8967	2	1	4
d	0.0056	0.1680	0.8007	0.5	0.25	1
e	0.0048	0.1440	0.8292	2	1	4
f	0.0035	0.1050	0.8754	0.5	0.25	1
g	0.0018	0.0550	0.9347	2	1	4
h	0.0371	1.1130	加速腐蚀	0	0	0

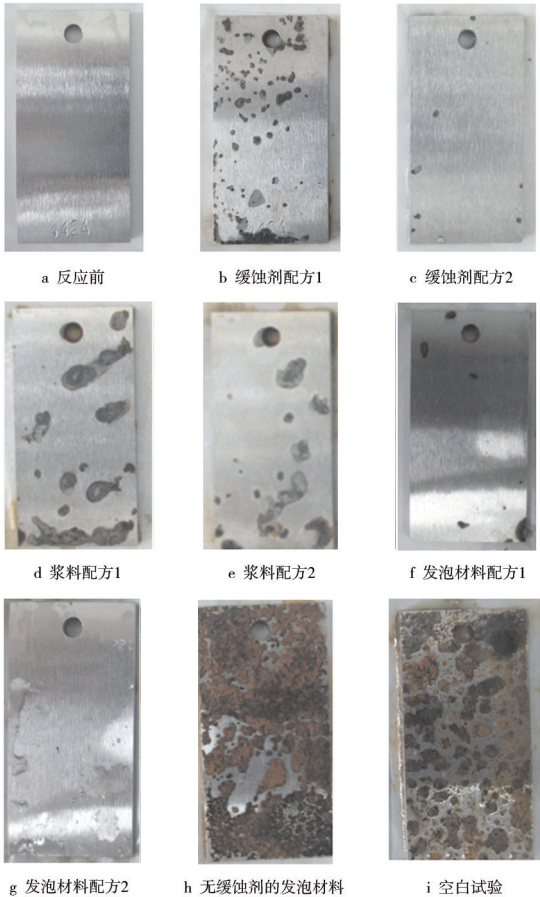


图6 缓蚀形态对比

Fig.6 Comparison of corrosion inhibition morphology

均匀。图 6f 中铁片主要在四周边缘生锈,图 6g 中铁片 4 个侧边均有锈斑,这是因为试验时铁片置于材料正上方,所以铁片中间缓蚀效果较好。图 6h 为纯纤维无缓蚀剂的发泡材料,从铁片的严重腐蚀情况可以看出,纯纤维发泡材料不仅没有缓蚀效果,而且具有加速腐蚀的作用,这与纤维发泡材料的吸水特性有关,含水率较高的纯纤维材料会增加铁片周围的湿度,产生加速腐蚀效果。

由表 1 可知,含有配方 1 及配方 2 的不同样品的缓蚀率均在 80% 以上,说明配方 1 和配方 2 都具有良好的缓蚀效果,且配方 2 的缓蚀率均高于配方 1 的。不

含缓蚀剂的发泡材料具有加速腐蚀的作用,而含有缓蚀剂配方 2 的发泡材料的缓蚀率最高,大于 90%,所以缓蚀型微波发泡纤维材料的缓蚀性能良好。

测试材料的力学性能,对在恒温恒湿箱中处理 24 h 的材料进行静态压缩试验,分别对不含缓蚀剂的纯纤维发泡材料、含有缓蚀剂配方 1 的纤维发泡材料和含有缓蚀剂配方 2 的纤维发泡材料进行静态压缩试验,结果见图 7。由图 7 可知,该新型材料的力-变形曲线与 EPE, EPS 的类似,都比较平滑,不存在明显的压缩屈服点。这是因为这 3 类材料的微观构型是多孔状结构,存在较多的储能空间,在一定压力范围内,材料无需通过骤然变形即可应对外界施加其上的压力。

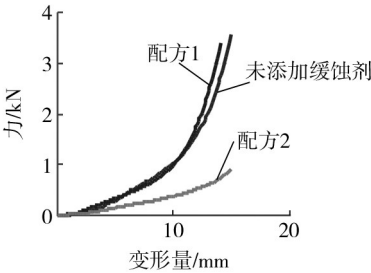


图7 新材料的力-变形曲线

Fig.7 Force-deformation curves of the new material

由于配方 1 添加的复配型缓蚀剂为 1.75 g,对发泡材料的力学性能影响不大,由图 7 可以看出,未添加缓蚀剂的曲线与配方 1 的曲线基本重合。配方 2 所添加的复配型缓蚀剂为 7 g,对材料力学性能有一定的影响,随着缓蚀剂质量的增大,在相同受力条件下,材料的变形量增大,即材料的柔韧性增加,材料吸收能量的性能增加,所以其缓冲性能越好,更适合包装易破损产品。

对材料进行缓蚀性能评价试验,即在高温高湿加速腐蚀环境下进行试验,结果见图 8。经过高温高湿环境的缓冲材料在相同受力条件下,变形量更大,材料由于吸湿,硬度下降,但可以吸收能量,仍具有一定

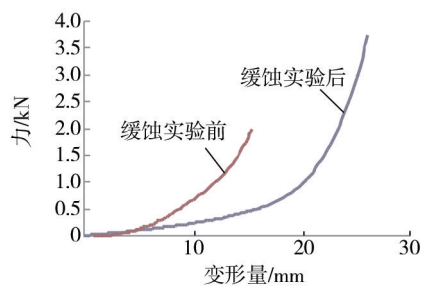


图8 高温高湿环境前后的力-变形曲线对比

Fig.8 Force-deformation curves before and after the test in hot and humid environment

的缓冲性能。

3 结语

以微波发泡制成纤维发泡材料,具有良好的缓蚀效果,添加由二甲基咪唑啉、尿素和硼砂以质量比4:1:2进行复配的缓蚀剂之后,发泡材料的缓蚀效果可以达到90%以上,而不添加缓蚀剂的纤维发泡材料会对金属有加速腐蚀的作用。当材料中添加缓蚀剂的量较少时,对材料的缓冲性能影响较小,当缓蚀剂的含量增大时,材料的柔韧性增大,更适于包装易损坏的物品。材料经过高温高湿的环境后,依然具有一定的缓冲性能。

参考文献:

- [1] 安仲勋,潘庆谊,张大全,等. 新型吗啉类气相缓蚀剂的电化学阻抗研究[J]. 材料保护,2003,36(5):14—46.
AN Zhong-xun, PAN Qing-yi, ZHANG Da-quan, et al. Study on Electrochemical Impedance Model of Morpholine Vapor Phase Inhibitor[J]. Materials Protection, 2003, 36(5): 14—46.
- [2] 贺伦英,张钦发,何新快,等. 气相缓蚀包装材料的研究[J]. 中国包装工业,2002(6):37—41.
HE Lun-ying, ZHANG Qin-fa, HE Xin-kuai, et al. Gas Phase Corrosion Inhibitor Packaging Materials[J]. China Packaging Industry, 2002(6): 37—41.
- [3] 宁贝来. 用新型包装方法实现某电子设备印制板的长期储存[J]. 包装工程,2006,27(4):140—142.
NING Bei-lai. Implementation of Printed Circuit Board for an Electronic Equipment for Long-term Storage of with New Packaging[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 140—142.
- [4] 李子繁,孙红旗,郭宝华. 综合防护包装技术在武器装备中的应用[J]. 包装工程,2009,30(10):59—61.
LI Zi-fan, SUN Hong-qi, GUO Bao-hua. Application of Integrated Protection Packaging Technology in Ordnance[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 59—61.
- [5] 崔爽. 气相防锈包装技术及其发展[J]. 包装工程,2009,30(4):90—92.
CUI Shuang. Volatile Rust Proof Packaging Technology and Its Development[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 90—92.
- [6] 白芳,唐艳秋. 气相防锈缓冲材料的产品形式及特点[C]//第十五届全国缓蚀剂学术会议、2008全国防锈技术交流年会联合大会论文集,2008:264—266.
BAI Fang, TANG Yan-qiu. The Characteristics of VCI Buffer Material Product Forms Characteristics[C]// 15th National Inhibitor Academic Conference, 2008 National Federation of Antirust Technology Exchange Year Conference Proceedings, 2008: 264—266.
- [7] 周盛华. 植物纤维发泡材料的研究背景、现状及工艺探讨[J]. 包装工程,2007,28(11):239—242.
ZHOU Sheng-hua. The Research Background, Present Status and Process of Plant Fiber Foaming Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 239—242.
- [8] 唐艳秋,张建伟,王福成. 防锈防护组合技术在装备器材防锈封存中的应用[J]. 包装工程,2014,35(3):25—29.
TANG Yan-qiu, ZHANG Jian-wei, WANG Fu-cheng. The Rust Protection Combination Application of Technology in Equipment of Rust Proof Seal[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 25—29.
- [9] 董家梅,孙绪新. 缓蚀剂防腐及其在石油机械中的应用[J]. 石油机械,2000,28(5):18—21.
DONG Jia-mei, SUN Xu-xin. Corrosion Inhibitor and Its Application in Petroleum Machinery[J]. Petroleum Machinery, 2000, 28(5): 18—21.
- [10] 李海清. 一种绿色缓蚀剂的配方及缓蚀性能的评价方法[D]. 无锡:江南大学,2013.
LI Hai-qing. Evaluation Method and a Formula of the Green Corrosion Inhibition Performance of Corrosion Inhibitor[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [11] 武军. 以植物纤维做支撑的缓冲包装材料关键影响因素研究[J]. 包装工程,2007,28(8):49—51.
WU Jun. Effects of Buffer Packaging Material the Key Supporting Factors[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 49—51.
- [12] 张凤琴,李小龙,何农跃,等. 稻草纤维制备缓冲材料的影响因素研究[J]. 包装工程,2010,31(3):14—17.
ZHANG Feng-qin, LI Xiao-long, HE Nong-yue, et al. Study of Influencing Factors of Cushioning Material Preparation from Rice Straw Fiber[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 14—17.
- [13] 柴希娟,张加研,扈焕军. 微波辐照蔗渣制备可降解发泡材

(下转第14页)

- od of Molded Pulp[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 65—67.
- [5] 王男, 王晓敏, 王文生. 天然染料生产彩色纸浆模塑包装制品染色性能的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 126—128.
WANG Nan, WANG Xiao-min, WANG Wen-sheng. Research on Dyeing Performance of Natural Dyestuff in Producing Color Paper Mould Packaging Products[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 126—128.
- [6] 王进一. 水松原纸平滑度影响因素的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
WANG Jin-yi. Study on Influence Factors of the Smoothness of Tipping Base Paper[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2005.
- [7] 张琳. 纸张印刷适性与印刷品质相关性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
ZHANG Lin. Study on the Correlation between Paper Printability and Printing Quality[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2013.
- [8] 费贵强, 沈一丁, 王海花, 等. 高分子基AKD乳液的制备和作用机理[J]. 中国造纸, 2008(6): 30—33.
FEI Gui-qiang, SHEN Yi-ding, WANG Hai-hua, et al. Preparation and Function Mechanism of Polymer Base AKD Emulsion[J]. China Pulp & Paper, 2008(6): 30—33.
- [9] 杨静. AKD施胶的表面化学机理及其对回用纤维性能的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
YANG Jing. Study on the Surficial Chemistry Mechanism of AKD Sizing and the Influence of Sizing on Properties of Recycled Fibers[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [10] KARADEMIR A, HOYLAND R W, WISEMAN N, et al. The Effects of AKD Sizing on the Frictional Properties of Paper [C]// 56th Annual Appita Conference, 2002.
- [11] KARADEMIR A, HOYLAND R W. The Sizing Mechanism of AKD and Its Effect on Paper Friction[J]. Appita Journal, 2003, 56(5): 380—384.
- [12] SEPPANEN R. On the Internal Sizing Mechanisms of Paper with AKD and ASA Related to Surface Chemistry, Wettability and Friction[D]. Stockholm: KTH, Royal Institute of Technology, 2007.
- [13] 黄俊彦, 朱婷婷. 纸浆模塑生产实用技术[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.
HUANG Jun-yan, ZHU Ting-ting. Practical Production Technology of Molded Pulp[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.
- [14] GB/T 10739—2002, 纸、纸板和纸浆试样处理和试验的标准大气条件[S].
GB/T 10739—2002, Paper, Board and Pulps—standard Atmosphere for Conditioning and Testing[S].
- [15] GB/T 3332—2004, 纸浆打浆度的测定(肖伯尔-瑞格勒法)[S].
GB/T 3332—2004, Pulps—determination of Beating Degree (Schopper-Riegler Method)[S].
- [16] GB 10006—88, 塑料薄膜和薄片摩擦因数测定方法[S].
GB 10006—88, Plastics—film and Sheet—determination of the Coefficients of Friction[S].
- [17] 黄六莲, 陈礼辉, 马晓娟. 在纸浆模塑中填加白泥的研究[J]. 华东纸业, 2010, 41(1): 31—33.
HUANG Liu-lian, CHEN Li-hui, MA Xiao-juan. Study on Pulp Molding with White Mud as Filler[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2010, 41(1): 31—33.
- [18] 林涛, 任建晓, 殷学风, 等. 细小纤维与PAM共絮凝工艺留着及滤水性能的探讨[J]. 中华纸业, 2013, 34(18): 34—37.
LIN Tao, REN Jian-xiao, YIN Xue-feng, et al. A Discussion on the Retention and Drainage in Co-flocculation of Fines and PAM[J]. China Pulp & Paper Industry, 2013, 34(18): 34—37.

(上接第5页)

- 料的工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2009(S1): 165—168.
CHAI Xi-juan, ZHANG Jia-yan, HU Huan-jun. Study on the Process of Preparing Degradable Material for Microwave Irradiation of Bagasse[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009(S1): 165—168.
- [14] 李海清, 钱静, 王彤. 一种气相缓蚀剂的密闭空间定量评价方法[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 94—98.
LI Hai-qing, QIAN Jing, WANG Tong. A Confined Space Quantitative Evaluation Method of Vapor Phase Corrosion Inhibitors[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 94—98.
- [15] WAN Hong-jing, HUANG Hong-jun, ZHANG Min, et al. A Modified Method for Evaluation of Materials Containing Volatile Corrosion Inhibitor[J]. Metals Test Methods and Analytical Procedures, 2005, 12(4): 406—410.