

全息防伪烟包的镀铝工艺研究

贾俊伟, 钱军浩, 张晓丹
(江南大学, 无锡 214122)

摘要: **目的** 为解决苏州某公司在红塔山(经典100)烟包打样过程中样品与标准样张的色差问题,调整烟包生产中的镀铝工艺参数,确定最佳生产方案。**方法** 通过采集不同机台的打样数据找出铝层厚度与对应方阻值的关系,分析实验数据、绘制曲线并得到 R_s-d 的拟合方程。**结果** 方阻值随铝层厚度增加而减小,且在不同的铝层厚度区间内方阻减小的速率不同,分界点为(2.61, 2.54)。**结论** 将镀铝工艺的方阻值控制在2.21~2.72 Ω 范围内,能有效解决打样的色差问题。

关键词: 真空镀铝; 全息; 防伪; 包装材料

中图分类号: TS893 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)21-0071-05

Aluminium Coating Process for Holographic Anti-counterfeiting Cigarette Packet

JIA Jun-wei, QIAN Jun-hao, ZHANG Xiao-dan
(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: Objective To solve the color difference problem between the cigarette packet samples and the proofs of Hongtashan (Classic 100) of a company in Suzhou, the process parameters in the aluminum coating process were adjusted, and the optimal production program was determined. **Methods** Data was collected from different proofing machines to find out the relationship between the aluminum layer thickness with the corresponding square resistance, and a fitting equation of R_s-d was obtained by analyzing the experimental data and drawing curves. **Results** The square resistance decreased with the increasing aluminum layer thickness, and the decreasing speed was different within different intervals of aluminum layer thickness, with a demarcation point of (2.61, 2.54). **Conclusion** Controlling the square resistance of the aluminum layer within 2.21~2.72 Ω could effectively solve the color difference in the proofing process.

KEY WORDS: vacuum aluminizing process; holographic; anti-counterfeiting; packaging materials

激光全息防伪技术是20世纪80年代初发展起来的一项新技术,最早用于酒类、茶叶及化妆品包装^[1],近年来在其他行业如证卡、牌照、医药、烟包中均得到广泛应用。随着经济的发展,市场上假冒伪劣产品频出,这不仅对消费者造成身心伤害,还给生产商带来了巨大的经济损失^[2]。在严峻的市场环境中,激光全息防伪技术成功发展为一种有效的打假手段。激光全息技术根据激光干涉原理,利用空间频率编码的方

法制作成全息图^[3]。全息图呈色是在拍摄时根据人眼观察全息图像的角度来确定参考光与物光的夹角,使得白光照射在全息图上时,在人眼观察角度上衍射某一特定波长的光波,从而使衍射图像在全息图上依次呈现多个层次,分解出多种随观察角度变化而变化的绚丽色彩^[4]。

文中立足于苏州某包装材料公司,为激光全息防伪技术在烟包生产中的应用研究。红塔山(经典100)

收稿日期: 2014-06-25

作者简介: 贾俊伟(1989—),女,江苏无锡人,江南大学硕士生,主攻冷烫膜涂布工艺。

烟包为纸基全息包装材料^[5],以聚酯薄膜(PET)为主要成像基材。成像基材经版辊模压、镀铝后附着了信息层,再将附着图形信息的铝层转移到纸张上就形成了所需包装材料。该公司全息防伪包装材料能表现多种防伪效果,例如双通道(正面对视观察,图形呈红色,转动90度,图形呈绿色)、灰度变化、微缩文字、隐形水印、视闪效果(在不同视场通道观察时,图形将会“闪亮”或“变暗”)等^[6]。笔者为解决公司在红塔山(经典100)烟包打样过程中与标准样张的色差问题,对烟包生产中的镀铝工艺参数进行分析。研究结果能为烟包的稳定批量生产打下基础,并对其他学者做相关工艺研究提供参考。

1 实验

1.1 方法

首先对聚酯薄膜(PET)进行涂布冷却,经贴有图文版辊的模压机进行图文转移复制后,再进行真空蒸镀在薄膜上附着一层均匀的铝层,最后将附着有图文信息的铝层转移到纸张上,经后序印刷加工即可制得烟包包装材料。烟包生产的镀铝工序采用真空蒸镀法,它是气体渗铝工艺的物理气相沉积法的一种。渗铝^[7-8]能有效提高基材的机械性能、抗腐蚀和抗氧化性能。该实验为烟包生产的镀铝工艺研究^[9-10],为排除其他工序的影响因素,其他工序参数为定值。

在烟包生产工艺一致的条件下,通过改变包装镀膜机的方阻值控制蒸镀参数,测量镀铝后薄膜的铝层厚度及方阻值,建立铝层厚度 d 与方阻值 R_s 的函数关系。

1.2 设备

实验设备:汕头远东TBZ-1300型电脑全自动涂布机组,汕头依明MY800A型定位模压机,苏州东昇MPA-1250包装镀膜机,南京达明DMR-1C型方阻仪,高倍扫描电子显微镜(SEM)等。

1.3 参数

真空度为 10^{-2} Pa,送丝速度为1120~1200 mm/min,机台速度为320 m/min,放卷张力为10 kg,收卷张力为11 kg,铝层厚度范围为20~50 nm。

2 分析

2.1 方阻仪测量原理

2.1.1 四探针法测量模型

薄层电阻测量技术中,广泛使用的是四探针法^[11]。薄层电阻也称膜电阻、方块电阻(Ω),指一个正方形的薄膜导电材料“边到边”之间的电阻。定义一个长为 l 、宽为 l 、截面积为 A 、厚度为 d 、平均电阻率为 ρ 的铝膜,见图1。

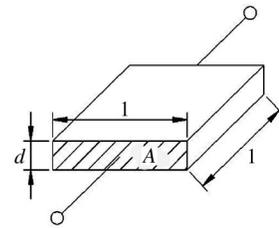


图1 铝层示意

Fig.1 Schematic diagram of aluminum layer

$$R = \rho L/S, (L=l, S=A=l \times d) \quad (1)$$

则得到薄层电阻,即方块电阻 $R_s = \rho l/(l \times d) = \rho/d$ 。

四探针法测量方阻值的原理见图2。

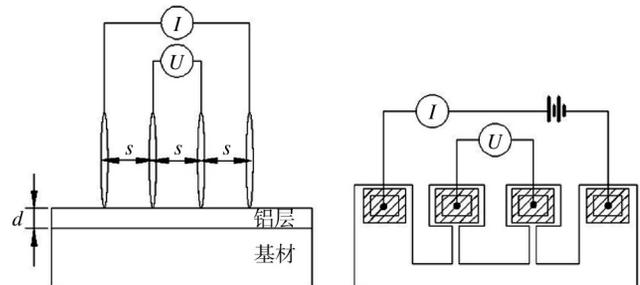


图2 四探针法测试结构

Fig.2 Principle scheme of the four probe method

探针间距相等为 s ,电压为 U ,电流为 I ,修正系数为 C 。

根据电阻定义式:

$$R = CU/I \quad (2)$$

当 $d \ll s$ 时, $C=4.5324, R_s=4.5324U/I$ 。

2.1.2 注意事项

1) 方阻仪误差控制。若被测导电薄膜材料表面不干净,如存在油污或材料暴露在空气中时间过长形成氧化层,会影响测试稳定性和测试精度。探头的探

针存在油污时也会引起测试不稳,此时可以把探头在干净的白纸上滑动几下擦干净。蒸发铝膜的厚度太薄时,形成的铝膜不能均匀地连成一片,而是形成点状分布,此时方块电阻值会大大增加。

2) 真空蒸镀机误差控制。严格控制镀铝时间、蒸发速度和真空度,及时供给铝丝并保证铝丝纯度,若蒸发舟上无铝仍继续加热,会导致铝层面呈蓝灰色。预熔时电流过高或未加挡板以及蒸发电流过高时,都会导致铝层面出现点状痕迹。确保蒸发室和夹具的清洁性,否则铝层面会出现灰点,若除静电除尘不彻底,铝层面会出现针孔。

2.2 数据整理

实验所用的真空镀铝膜采用方阻仪测量其方阻值 R_s ,用高倍扫描电子显微镜(SEM)测量其铝层厚度 d 。采集实验数据,绘制出铝层厚度和方阻值的关系见图3。

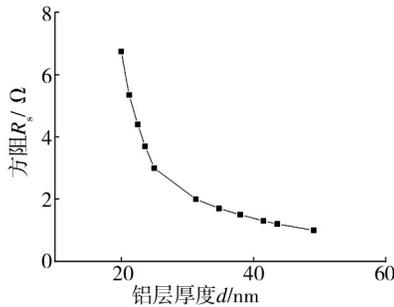


图3 铝层厚度 d 与方阻值 R_s 的关系

Fig.3 Relationship of aluminum layer thickness d and square resistance R_s .

由图3可知,铝层厚度较小时,方阻值随厚度增加急剧下降,原因为金属薄膜处于初期生长阶段时呈岛状结构,导电机理为热电子发射和隧道效应,故电阻率较大,表现出非金属性质。铝层厚度达到某一定值(不妨设为 (d_0, R_{s0}))后,方阻值随铝层厚度增加缓慢下降,此时金属薄膜形成网状结构,电子穿过优先导电通路形成导电渗流,呈现出非金属到金属的转变。铝层厚度进一步增加时,方阻值随厚度增加变化较小、逐渐趋向某个定值,此时铝层形成连续薄膜,呈现出金属性质^[12-14]。

观察图3可知,当铝层厚度为20~25 nm时(即图3的前半段),方阻值随铝层厚度增加急剧下降;当铝层厚度在31.3~49.1 nm范围内时(即图3的后半段),方

阻值随铝层厚度增加缓慢减小。故可以把曲线分为前后两部分,分别作前半段的 $\ln R_s-d$ 曲线和后半段的 R_s-d^{-1} 曲线^[15],见图4。

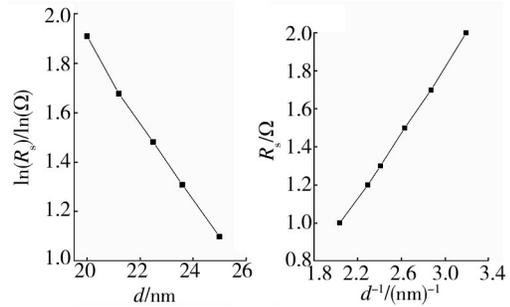


图4 $\ln R_s-d$ 和 R_s-d^{-1} 曲线

Fig.4 Curves of $\ln R_s-d$ and R_s-d^{-1}

由图4可知,两曲线均呈良好的线性关系,对 $\ln R_s-d$ 曲线进行线性拟合,得到拟合结果见表1。

表1 $\ln R_s-d$ 曲线拟合结果

Tab.1 Fitting result of $\ln R_s-d$ curve

参数	数值	误差	
A	5.098 35	0.103 97	
B	-1.604 33	0.046 15	
R	SD	N	P
-0.998 76	0.018 11	5	<0.0001

同理,对 R_s-d^{-1} 曲线进行线性拟合,得到拟合结果见表2。

表2 R_s-d^{-1} 曲线拟合结果

Tab.2 Fitting result of R_s-d^{-1} curve

参数	数值	误差	
A	-0.778 07	0.033 62	
B	8.658 35	0.129 25	
R	SD	N	P
0.999 55	0.012 08	6	<0.0001

表1和表2中各参数的含义:A行2个数值分别代表截距A及截距的标准差 S_A ;B行2个数值分别代表斜率B及斜率的标准差 S_B ;R为相关系数;SD为拟合变量Y的标准差 S_Y ;N为样本数;P为相关系数为0的置信概率。

2.3 结果分析

首先分析 $\ln R_s-d$ 曲线,根据表1的结果,相关系数 $R=-0.998 76$,说明在实验数据测量范围内, $\ln R_s$ 和 d 具

有良好的线性关系,判断错误的概率小于0.0001。

拟合直线为:

$$\ln R_s = 5.10 - 1.60 d \quad (3)$$

$$\text{即 } R_s = e^{5.10 - 1.60 d} \quad (4)$$

同理,根据表2分析 R_s-d^{-1} 曲线,可得到:

$$R_s = -0.78 + 8.66 d^{-1} \quad (5)$$

综上所述,得到分段方程为:

$$\begin{cases} R_s = e^{5.10 - 1.60 d} (d \leq d_0) \\ R_s = -0.78 + 8.66 d^{-1} (d \geq d_0) \end{cases} \quad (6)$$

令 $e^{5.10 - 1.60 d} = -0.78 + 8.66 d^{-1}$,解方程得到分界点 $(d_0, R_{d0}) = (2.61, 2.54)$,即 R_s-d 曲线以点 $d=2.61$ 为界,小于该值时,方阻值随铝层厚度急剧下降;大于该值时,方阻值随厚度增加缓慢减小。

将实验数据代入分段方程进行验证,得到的结果在误差允许范围内与实验结果吻合良好,故分段方程可作为经验方程对烟包产品批量生产提供参考。按照客户要求标准,控制铝层厚度 d 在25~29 nm范围内时,能有效解决烟包产品与标准样张的色差问题。根据得到的分段方程,此时对应的铝膜方阻值 R_s 范围为2.21~2.72 Ω 。

3 结语

综上所述,铝层方阻值与铝层厚度呈特定的函数关系,控制烟包生产工艺中的镀铝方阻值能有效控制镀铝后的铝层厚度。按照客户要求,铝层厚度可允许范围为25~29 nm,根据实验数据分析得到的分段方程,此时对应的铝膜方阻值为2.21~2.72 Ω 。结果表明,按此参数设定进行生产的烟包产品合乎客户标准,有效解决了烟包打样与标准样张之间的色差问题。研究结果能为烟包的稳定批量生产打下基础,并对其他学者做相关工艺研究提供参考。

参考文献:

- [1] 李春阳. 激光全息防伪技术在烟包印刷中的应用与现状[J]. 印刷杂志, 2005(6): 15—16.
LI Chun-yang. Application and Current Situation of Laser Holographic Anti-counterfeiting Technology in the Printing of Cigarette Packet[J]. Printing Field, 2005(6): 15—16.
- [2] 芳芳. 激光全息防伪技术在烟包印刷中的应用[J]. 国际防伪, 2007(2): 47—48.

FANG Fang. Application of Laser Holographic Anti-counterfeiting Technology in the Printing of Cigarette Packet[J]. International Anti-counterfeit, 2007(2): 47—48.

- [3] GERBREDERS A, BULANOV A, SLEDEVSKIS E, et al. Optical Properties of Composite Films Based on Copper Chloride in PMMA Matrix[J]. Key Engineering Materials, 2014, 605(1): 445—448.
- [4] 刘兵. 激光全息防伪技术在包装印刷中的应用[J]. 印刷技术, 2001(27): 27—28.
LIU Bing. Application of Laser Holographic Anti-counterfeiting Technology in Package Printing[J]. Printing Technology, 2001(27): 27—28.
- [5] 池宏勋, 彭学军, 谭美军, 等. 纸基全息印品图文质量的影响因素分析[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 41—42.
CHI Hong-xun, PENG Xue-jun, TAN Mei-jun, et al. Analysis on the Influential Factors of the Pictographic Quality on the Holographic Paper[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 41—42.
- [6] XING Jie-fang, CHEN Yuan, HE Lu-jun. Double-position Positioning Test and Analysis on Holographic/Protruding Lettering of Cigarette Packet Based on Machine Vision[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 312: 597—602.
- [7] FRANCESCO B, GIOVANNI B, CARLO G, et al. Diffusion Mechanisms and Microstructure Development in Pack Aluminizing of Ni-based alloys[J]. Surface and Coatings Technology, 2014, 239: 147—159.
- [8] PYTEL M, G RAL M, NOWOTNIK A, et al. Heat Treatment and CVD Aluminizing of Ni-base Ren é 80 Superalloy[J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2012, 51(1): 30—38.
- [9] WAGNER J J R. Multilayer Flexible Packaging: Technology and Applications for the Food, Personal Care, and Over the counter Pharmaceutical Industries[M]. Boston: William Andrew, 2009: 185—200.
- [10] 林梅生. 真空镀铝工艺中的几个问题[J]. 真空与低温, 1990(4): 27—31.
LIN Mei-sheng. Several Issues in Vacuum Aluminizing Process[J]. Vacuum and Cryogenics, 1990(4): 27—31.
- [11] 刘新福, 孙以材, 刘东升. 四探针技术测量薄层电阻的原理及应用[J]. 半导体技术, 2004, 29(7): 1—8.
LIU Xin-fu, SUN Yi-cai, LIU Dong-sheng. Principles and Applications of Four-probe Method in Measuring Sheet Resistance[J]. Semiconductor Technology, 2004, 29(7): 1—8.
- [12] 龚建勋, 刘正义, 邱万奇, 等. 真空蒸镀聚乙烯醇薄膜[J]. 真空科学与技术学报, 2004(5): 359—362.

GONG Jian-xun, LIU Zheng-yi, QIU Wan-qi, et al. Vacuum Evaporated Poly(Vinyl Alcohol) Thin Films[J]. Vacuum Science and Technology, 2004(5):359—362.

[13] 马运柱, 崔鹏, 刘文胜, 等. SnAgCu 合金粉末的真空蒸镀涂层机理[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(2):188—191.

MA Yun-zhu, CUI Peng, LIU Wen-sheng, et al. Film Formation Mechanism of Coated SnAgCu Alloy Powders via Vacuum Evaporation[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2011, 33(2):188—191.

[14] 黄剑锋, 王艳, 曹丽云, 等. 蒸镀法制备 ZnS 光学薄膜研究

[J]. 稀有金属材料与工程, 2009(s1):490—492.

HUANG Jian-feng, WANG Yan, CAO Li-yun, et al. Research of ZnS Optical Thin Film via Evaporation[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2009(s1):490—492.

[15] 谭辉, 陶明德. 非晶薄膜厚度与电阻率的关系[J]. 功能材料, 1985(5):279—283.

TAN Hui, TAO Ming-de. Relationship between Layer Thickness and Resistivity of Amorphous Film[J]. Journal of Functional Materials, 1985(5):279—283.

(上接第 26 页)

得出瓦楞纸板最优缓冲面积, 克服了利用缓冲曲线设计包装结构需要大量试验数据的弊端, 为瓦楞纸板包装结构优化设计提供有效的方法。

参考文献:

[1] YU Da, KWAK J B, SEUNGBAE P, et al. Dynamic Responses of PCB under Product-level Free Drop Impact[J]. Microelectronics Reliability, 2010(50):1028—1038.

[2] 卢富德, 高德. 考虑蜂窝纸板箱缓冲作用的产品包装系统跌落冲击研究[J]. 振动工程学报, 2012, 25(3):335—341.

LU Fu-de, GAO De. Study on Drop Impact of Packaging System Considering the Cushioning Action of Honeycomb Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3):335—341.

[3] 卢富德, 高德. 功能梯度泡沫动力学响应分析[J]. 振动与冲击, 2014, 33(15):54—57.

LU Fu-de, GAO De. Dynamic Response of a Functionally Graded Foam Structure[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 33(15):54—57.

[4] 卢富德, 高德, 梁爱锋. 立方非线性双层包装在矩形方波冲击下破损边界曲线的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(12):7—10.

LU Fu-de, GAO De, LIANG Ai-feng. Study of Damage Boundary Curve of Cubic Non-linear Double Layer Package under Rectangular Pulse[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12):7—10.

[5] 卢富德, 刘雄建, 高德. 多胞缓冲材料本构模型与应用进展[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(7):1336—1334.

LU Fu-de, LIU Xiong-jian, GAO De. Review of Constitutive Model and Its Application of Cellular Cushioning Material[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2014, 48(7):1336—1344.

[6] LU Fu-de, GAO De. Impact Responses of Composite Cushioning System Considering Critical Component with Simply Supported Beam Type[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2014(56):1—5.

[7] LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Virtual Mass Method for Solution of Dynamic Response of Composite Cushioning Packaging System[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26(S1):32—42.

[8] SEK M, KIRKPATRICK J. Prediction of the Cushioning Properties of Corrugated Fibreboard from Static and Quasi-dynamic Compression Data[J]. Packaging Technology and Science, 1997, 10(2):87—94.

[9] 卢富德, 陶伟明, 高德. 串联缓冲结构压缩响应虚拟质量分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(8):1431—1436.

LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Compression Responses of Series Cushioning Structures by a Virtual Mass Method[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46(8):1431—1436.

[10] 卢富德, 陶伟明, 高德. 串联缓冲系统冲击响应与结构优化分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(10):1773—1777.

LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Impact Response of Series Cushioning System and Structure Optimization Analysis[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46(10):1773—1777.

[11] ROUILLARD V, SEK M A. Behaviour of Multi-layered Corrugated Paperboard Cushioning Systems under Impact Loads[J]. Strain, 2007, 43(4):345—347.

[12] 卢富德, 陶伟明, 高德. 瓦楞纸板串联缓冲系统动力学响应[J]. 振动与冲击, 2012, 31(21):30—32.

LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Dynamic Response of a Series Cushioning Packaging System Made of Multi-layer Corrugated Paperboard[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(21):30—32.