

饱和聚酯辊涂工艺参数对涂层性能的影响

吴若梅¹, 孙兆飞¹, 连运增², 章耀平², 向红³

(1. 湖南工业大学, 株洲 412007; 2. 广东欧亚包装有限公司, 中山 528437;
3. 华南农业大学, 广州 510642)

摘要: **目的** 为了提高金属罐漆膜质量, 研究不同辊涂工艺参数对金属罐外涂膜性能的影响。 **方法** 探讨在饱和聚酯辊涂过程中的涂料黏度, 取料辊与涂覆辊间距, 芯轴速度与滚筒速度(周速比)等工艺参数对涂层性能影响, 从而得出金属罐最佳辊涂工艺参数的设置范围。 **结果** 涂料黏度, 取料辊与涂覆辊间距, 芯轴速度与滚筒速度(周速比)等工艺参数对金属罐漆膜的附着力、硬度、耐热性均有影响。 **结论** 当涂料黏度为 85 s(DIN6 黏度杯), 取料辊与涂覆辊间距为 $-4 \mu\text{m}$, 芯轴速度与胶辊速度(周速比)为 2:1 时, 漆膜的综合性能最好。

关键词: 金属罐; 饱和聚酯; 辊涂工艺参数

中图分类号: TB484.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)03-0036-04

Effect of Saturated Polyester Roller Coating Process Parameters on Coating Performance

WU Ruo-mei¹, SUN Zhao-fei¹, LIAN Yun-zeng², ZHANG Yao-ping², XIANG Hong³

(1. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China; 2. Euro Asia Packaging (Guangdong) Co., Ltd., Zhongshan 528437, China; 3. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: In order to improve the quality of metal cans film, the effect of different roller coating process parameters on the performance of external coating of metal cans was studied. The influences of roller coating process parameters on coating properties were discussed, including the viscosity of coatings, the spacing between feeding roller and coating roller, the spindle speed and roller speed (tip speed ratio), and the optimal ranges of roller coating process parameters were obtained. The experimental results showed that the process parameter of viscosity of coatings, feeding roller and coating roller spacing, spindle speed and roller speed (tip speed ratio) had influence on the film adhesion grade, hardness, heat resistance of the metal cans film. The good comprehensive performance film could be gain when the viscosity of coatings was 85 s, Feeding roller and coating roller spacing was $-4 \mu\text{m}$, spindle speed and roller speed (tip speed ratio) was 2:1.

KEY WORDS: metal cans; saturated polyester; roller coating process parameters

金属罐一直是军用食品及药品的主要包装品种, 其具有强度高、体积小、质量轻、便于携带和使用等优点。未来信息化战争所面临的自然环境多样易变, 军用食品易受储存环境中的温度、湿度、盐分等不良诱发因素的影响或破坏, 引起食品变质。为此不仅要求军用罐的强度高, 而且要求罐表面的防护

性能要好。

饱和聚酯漆具有较高的硬度、良好的柔韧性与附着力等优点, 因而被广泛用于金属罐底漆, 饱和聚酯涂层的制备方法有许多种, 辊涂技术是工业生产中常用的一种制备方法^[1-3]。辊涂原理^[4-5]是转辊在涂料槽中转动, 粘附一定量的涂料, 并在转辊的表面形成一

收稿日期: 2015-08-05

基金项目: 国家自然科学基金(31171689); 湖南省自然科学基金(2015JJ6034)

作者简介: 吴若梅(1968—), 女, 博士, 湖南工业大学教授, 主要研究方向为金属材料腐蚀与防护以及包装技术与新材料。

层湿膜,然后再调节调节辊传递给涂覆辊,涂覆辊与被涂物相接触,涂料被转移到被涂物的表面,进而形成连续的湿膜,被涂物经烘箱在160~190℃下烘烤7~15 min,交联固化成膜^[6-8]。辊涂技术具有以下优点:特别适用于金属卷材的涂装;施涂工艺简单,可操作性强;特别适用于烘烤型涂料;易于实现连续化生产作业,涂装速率快,生产效率高。辊涂技术在金属罐生产中广泛用于金属罐外壁的涂敷,但辊涂工艺参数对金属罐涂层的质量有着重要的影响,不同的工艺参数对涂层的质量影响不同,需要分析其通过什么途径来影响涂层质量,并且找到合适的工艺参数范围。文中研究了金属罐生产中采用的辊涂法,探究了涂料黏度,取料辊与涂敷辊间距,周速比等工艺参数对涂层性能的影响。

1 实验

1.1 材料和仪器

材料:饱和聚酯涂料(质量分数25%~50%)、重芳烃溶剂石脑油(质量分数25%~50%)、异佛尔酮(质量分数3%~5%),佛山市百润化工有限公司;400#中砂纸,上海怡和研磨材料有限公司;4H,3H,2H,H,F,HB,B,2B,3B,4B等规格铅笔,中国第一铅笔有限公司;透明压敏胶粘带,斯迪克新型材料(江苏)有限公司;金属罐 $\phi 35\text{ mm} \times 88\text{ mm}$,广东欧亚包装有限公司。仪器:Hinterkopf底涂机(H200L/TE28-11-11),德国Hinterkopf公司;Din6黏度杯,广州标格达实验室仪器用品有限公司;单刀,深圳恩特金属工具集团有限公司;数显恒温水浴锅HH-4,金坛市华城润华实验仪器厂;机械停表12001,宁波百诺科教设备有限公司。

1.2 制备

1.2.1 实验前准备

室温(25℃)下用搅拌机以120 r/min的转速将涂料桶内的饱和聚酯均匀搅拌,将涂料倒入涂料盘中,使取料1/3至1/2辊浸入涂料,开动辊涂机调节转速使取料辊、涂敷辊浸透涂料。将未涂覆的金属罐套放在芯轴上,并调节芯轴的转速。为了保证涂装过程人员的安全,操作人员应穿着工作服,佩戴防护眼镜。

1.2.2 涂层的制备

打开辊涂机电源,辊涂机按预先设置的参数(取料辊与涂覆辊间距为 $-5\text{ }\mu\text{ m}$,芯轴速度与滚筒速度比

为2:1)运转^[9],并将未涂装的金属罐置于芯轴上,使用Hinterkopf底涂机对金属罐进行涂装,在若干个金属罐上辊涂厚度为10~15 $\mu\text{ m}$ 的饱和聚酯。

1.2.3 性能测试

涂料黏度参照GB/T 6753.4—1998《色漆和清漆用流出杯测定流出时间》,调节水平螺母使黏度计处于水平位置,并在漏嘴下方放置200 mL搪瓷杯,用手指堵住漏嘴,将涂料倒满黏度计后,使用玻璃棒将多余涂料刮入凹槽中,移开手指,按下秒表,待涂料出现中断时按下秒表记录下时间,秒表的读数即为涂料流出的时间。漆膜硬度参照GB/T 6739—2006《色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度测试》,选用一组中华牌绘图铅笔:4H,3H,2H,H,F,HB,B,2B,3B,4B,其中4H最坚硬,4B最软,从4H到4B硬度依次递减。把铅笔芯尖端磨平,铅笔与涂层成45°角以不高于1 mm/s的速度朝背离操作者的方向划8 mm线,用橡皮擦净涂层表面上的碎屑,根据破坏程度来判断硬度等级。漆膜附着力测定参照GB/T 9286—1998《色漆和清漆 漆膜的划格实验测试》,使用划格器在涂层上划出纵横交错的格子,深度划及金属基材,将黏胶带覆盖划痕,用手指压平后扯住一端迅速揭开,观察涂层的脱落情况判断等级。漆膜耐热性参照GB/T 1735—1979《漆膜耐热性测定法》,将样罐至于恒温的水浴锅内,在 $65 \pm 5\text{ }^\circ\text{ C}$ 下水煮30 min,检查涂膜是否起皱脱落,并计算漆膜的脱落率。

2 结果与讨论

2.1 涂料黏度对涂层性能的影响

黏度是指流体本身存在黏着力而产生流体内部阻碍其相对流动的一种特性^[10-11]。涂料黏度直接影响涂料的施工性能以及湿膜的流平性、流挂性等,工业生产中需要根据施工要求的不同,采用稀释剂来调节涂料的黏度以达到良好涂装的目的。施涂中涂料的黏度又分为原始黏度和施工黏度,施工黏度的大小直接影响到漆膜的附着力、漆膜耐热性和硬度^[12]。

辊涂实验中,通过添加稀释剂(P-XC119003)改变涂料的黏度,选用75,80,85,90,95 s进行涂装,经烘箱烘干后检测涂层的附着力、硬度及漆膜耐热性。涂料的黏度与附着力、硬度及漆膜耐热性的关系见表1,不同黏度下漆膜附着力等级见图1。

由表1和图1可见,漆膜的附着力随着黏度的增大而缓慢下降。由于漆膜的附着力是涂层与金属基材机

表1 不同黏度对附着力、硬度及漆膜耐热性的影响

Tab.1 The influence of different viscosity on adhesion, hardness, and film thermal resistance

施涂黏度/s	测试项目		
	附着力等级	硬度	漆膜耐热性(脱落率)/%
75	1	F	1.0
80	0	H	0.5
85	0	H	0
90	1	F	3.0
95	1	HB	5.0

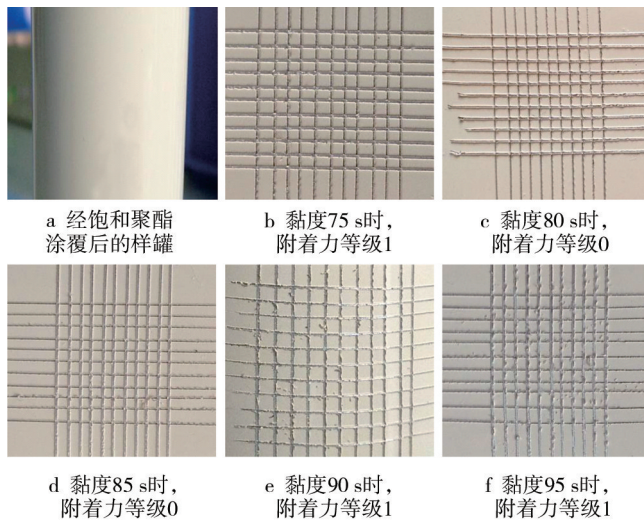


图1 不同黏度下漆膜附着力等级

Fig.1 The film adhesion grade under different viscosity

械锁合的宏观体现。由 $L=2.24 \left[\left(\frac{\gamma}{\eta} \right) (r \cos \theta) t \right]^{1/2}$ [13], 式中: r 为毛细血管的半径(cm); t 为时间(s); L 为渗透值(cm); γ 为表面张力($\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$); θ 为接触角; η 为黏度($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。当黏度 η 越低, L 越大, 渗透得越快, 涂层与金属基材的机械锁合程度越高, 附着力越高, 合理的黏度范围为 80~85 s。漆膜的耐热性受到漆膜附着力与交联率的影响, 附着力越强, 交联程度越致密, 漆膜的耐热性能就越好。硬度随黏度的增加先增大后减小, 这是因为涂料黏度的增加会使涂层的致密度增加, 但与此同时对液体的阻碍作用也加强, 粘性增强, 不利于物料的混合影响交联率[14], 成膜后单位面积硬度下降。经综合考虑, 饱和聚酯涂料的最佳黏度值为 85 s。

2.2 取料辊和涂覆辊间距对涂层性能的影响

取料辊和涂敷辊间距直接影响着金属罐涂层的厚度, 间隙越小, 涂膜越薄[14]。实验采用黏度为 85 s 的饱和聚酯涂料进行涂覆, 并通过改变取料辊与涂敷辊

的距离(-1~-5 μm)来观察涂膜的质量, 见图2。

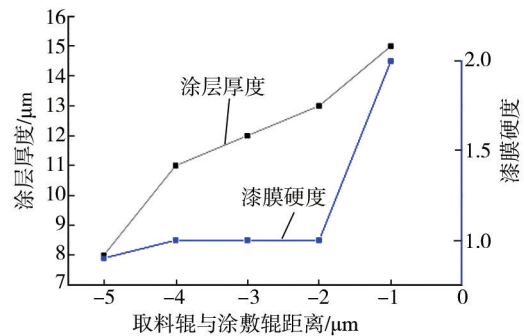


图2 取料辊与涂敷辊间距对涂膜质量的影响

Fig.2 The influence of the spacing between feeding roller and coating roller on coating quality

由图2可知, 取料辊与涂敷辊间距越小, 其间的压力就越大, 所涂敷的涂膜越薄。在企业生产中涂膜越薄所需涂料越少, 成本越低。当取料辊与涂敷辊的间隙为-5 μm 时, 其漆膜的硬度小于 H, 不符合金属罐漆膜硬度的标准, 合适的距离为-4 μm 附近。

2.3 周速比对涂层性能的影响

采用黏度为 85 s 的饱和聚酯, 取料辊与涂敷辊之间的距离为-4 μm , 实验中通过改变芯轴与胶辊的速度, 调整辊涂机使周速比在 1:1~3:1 范围内, 检查湿膜的质量和漆膜的性能, 结果见表2。

表2 周速比对涂层表面质量和漆膜耐热性的影响

Tab.2 The influence of tip speed ratio on coating surface quality and film thermal resistance

芯轴与胶辊速度之比(周速比)	涂层的表面质量	漆膜耐热性能(脱落率)/%
1:1	流挂(2%)	0.5
1.5:1	流挂(1%)	0
2:1	合格	0
2.5:1	漏底(2%)	2.5
3:1	漏底(5%)	5.0

涂料在辊涂施涂中, 金属罐在芯轴的带动下一起转动, 与胶辊接触时由于两者的速度不同, 涂料在从涂覆辊向金属罐转移的过程中会受到拉伸力的影响。当芯轴与胶辊速度之比越大时, 拉伸力就越大[15]。金属罐涂层质量有明显变化, 从过量流挂到厚薄均匀, 再到涂敷不均而漏底, 周速比的过大还会影响到涂料在金属罐上的附着能力。在漆膜耐热性检测中可以看出, 当周速比分别为 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 时, 漆膜的耐热性受到周速比增大所产生的拉伸力增大的影响, 造

成涂料附着力下降,最终导致热水浴实验中漆膜脱落。通过试验可以得出最佳周速比为2:1。

2.4 辊涂工艺参数因素分析

由前面的分析可知,涂层质量受到涂料黏度,取料辊与涂覆辊间距,芯轴速度与滚筒速度(周速比)等诸多因素的影响。为了探讨这些参数对涂层质量的影响,实验设计了3因素3水平正交试验,具体的参数设置及结果见表3。

表3 正交试验

Tab.3 Design of orthogonal experiment

序号	影响因素			漆膜耐热性能 (脱落率)/%	附着力等级	
	A	B	C			
1	75	-3	1.5:1	0	1	
2	75	-4	2:1	2	2	
3	75	-5	2.5:1	2	2	
4	80	-5	2.5:1	3	2	
5	80	-4	2:1	0	0	
6	80	-3	1.5:1	2	1	
7	85	-5	2:1	0	1	
8	85	-3	2.5:1	2	1	
9	85	-4	1.5:1	1	2	
漆膜 耐热 性能	K_{1j}	1.33%	1.33%	1.00%	—	—
	K_{2j}	1.67%	1.00%	0.67%	—	—
	K_{3j}	1.00%	1.67%	2.33%	—	—
	R_j	0.67%	0.67%	1.66%	—	—
附着 力	K_{1j}	1.67	1.00	1.33	—	—
	K_{2j}	1.00	1.33	1.00	—	—
	K_{3j}	1.33	1.67	1.67	—	—
	R_j	0.67	0.67	0.67	—	—

表3中设置了A,B,C等3个因素,其中A为涂料黏度,B为取料辊与涂覆辊间距,C为芯轴速度与滚筒速度(周速比)。根据各指标不同水平平均值确定各因素的优化水平组合,漆膜耐热性能(脱落率):A3B2C2;附着力级:A2B1C2。对于因素A,其对漆膜耐热性能影响大小排第一位,此时取A3;其对附着力影响也排第一位,取A2。由此,A可取A2或A3,但取A3时,漆膜耐热性比取A2减少了67%,而附着力等级增加了11.3%,且极差结果分析显示各因数影响顺序为A=B>C,漆膜耐热性对金属罐性能高于附着力,故A因素取A3。同理可分析B取B2,C取C2。根据正交试验显示的规律,最终确定优组合为A3B2C2,即涂料黏度为85 s,取料辊与涂覆辊间距为-4 μm ,芯轴速度

与胶辊速度(周速比)为2:1。

3 结语

通过对辊涂饱和聚酯过程中涂料黏度,取料辊与涂覆辊间距,芯轴速度与滚筒速度(周速比)进行讨论和正交分析,得出饱和聚酯的辊涂工艺的最佳范围:涂料黏度为85 s(DIN6黏度杯),取料辊与涂覆辊间距为-4 μm ,芯轴速度与胶辊速度(周速比)为2:1,此时漆膜的附着力、硬度、漆膜的耐热性等综合性能最好。

参考文献:

- [1] 刘国杰.水分散体涂料[M].北京:中国轻工业出版社,2004.
LIU Guo-jie. Aqueous Dispersion Coatings[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2004.
- [2] 余宗萍,成伟.关于改进辊涂UV高光面漆流平性的研究[J].上海涂料,2013,51(1):1—2.
YU Zong-ping, CHENG Wei. The Research on the Leveling Property Improvement of Roll Coating UV High Gloss Top Coat[J]. Shanghai Coatings, 2013, 51(1): 1—2.
- [3] 康晓鹏,朱志,陈方元,等.辊涂工艺及机械设备对带钢涂覆质量影响分析[J].中国冶金,2015,25(3):48—51.
KANG Xiao-peng, ZHU Zhi, CHEN Fang-yuan, et al. Analysis of the Influence of Roll Coating Technologies and Equipments on Strip Coating Quality[J]. China Metallurgy, 2015, 25(3): 48—51.
- [4] 刘登良.涂料工艺[M].北京:化学工业出版社,2009.
LIU Deng-liang. Paint Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [5] 刘国杰,耿耀宗.涂料应用科学与工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1994.
LIU Guo-jie, GENG Yao-zong. Coating Applied Science and Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1994.
- [6] 刘国杰.氨基树脂化学新进展Ⅱ氨基树脂交联固化化学进展[J].涂料工业,1989(5):33—39.
LIU Guo-jie. Progress in Amino Chemistry Part II, Crosslinking[J]. Coating Industry, 1989(5): 33—39.
- [7] GRAWE J R, BUFKIN B G. Survey of the Applications, Properties, and Technology of Crosslinking Emulsions (II) [J]. J Coat Technology, 1987, 50(643): 68—82.
- [8] BUFKIN B G, GRAWE J R. Survey of the Applications, Properties, and Technology of Crosslinking Emulsions (I) [J]. J Coat Technology, 1987, 50(641): 43—49.
- [9] 程苗.不同速比下逆涂辊间涂液稳定性及参数分析[D].武汉:华中科技大学,2009.
CHENG Miao. A Parametric and Stability Analysis of Liquid (下转第49页)

- 措施[J]. 导弹与航天运载技术, 2015(4):20—21.
YE Da-shui, WU Bo-wen YU Wen-Cheng. Failure Analysis and Solutions of the Front Cover Mechanism of Launch Canister[J]. Missiles and Space Vehicles, 2015(4):20—21.
- [5] 崔敏, 程泽林, 陈英. 基于VARTM工艺的大型闭合截面复合材料箱体的研制[J]. 宇航材料工艺, 2012(4):26—29.
CUI Min, CHENG Ze-lin, CHEN Ying. Development of a Large Closed Cross Section of Composite Material of Box Based on VARTM Process[J]. Aerospace Materials & Technology, 2012(4):26—29.
- [6] 钱元, 周光明, 贺卫东. 轻质复合材料发射箱盖结构与参数优化[J]. 航空学报, 2013, 34(4):826—831.
QIAN Yuan, ZHOU Guang-ming, HE Wei-dong. Lightweight Composite Launcher Cover Structural Design and Parameters Optimization[J]. Journal of Aeronautics, 2013, 34(4):826—831.
- [7] 冯维超, 周光明, 王新峰. 泡沫夹层复合材料发射箱盖损伤失效研究[J]. 技术研究与应用研究, 2014(1):43—46.
FENG Wei-chao, ZHOU Guang-ming, WANG Xin-feng. Foam Sandwich Composite Launcher Cover Damage Failure Research[J]. Technology and Applied Research, 2014(1):43—46.
- [8] 蔡建, 詹永富, 罗俊杰. 发射箱复合材料箱体的设计与选材[J]. 四川兵工学报, 2010, 30(8):37—38.
CAI Jian, ZHAN Yong-fu, LUO Jun-jie. Composite Cabinet Design and Material Selection of Launch Box[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2010, 30(8):37—38.
- [9] 蔡建, 詹永富. 大尺寸纤维复合材料箱体零拔模斜度缠绕成型模具设计[J]. 包装工程, 2011, 32(23):52—53.
CAI Jian, ZHAN Yong-fu. Zero Draft Angle Winding Mold Design of Big Size Fiber Composite Material of the Box[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(23):52—53.
- [10] 牛春匀. 实用飞机复合材料结构设计与制造[M]. 程小全, 张纪奎, 译. 北京:航空工业出版社, 2010.
NIU Chun-yun. Utility Aircraft Composite Structure Design and Manufacture[M]. CHENG Xiao-quan, ZHANG Ji-kui, Translated. Beijing: Aviation Industry Press, 2010.
- [11] 益小苏. 先进复合材料技术研究与发展[M]. 北京:国防工业出版社, 2006.
YI Xiao-su. Advanced Composites Technology Research and Development[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [12] FELI S, ASGARI M R. Finite Element Simulation of Ceramic/Composite Armor Under Ballistic Impact[J]. Composite Structures, 2011, 42(4):771—780.
- [13] CARLSSON L A, KARDOMATEAS G A. Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites[M]. New York: Springer, 2011.
- [14] BAMBAL A S. Mechanical Evaluation and FE Modeling of Composite Sandwich Panels[M]. Ann Arbor: West Virginia University, 2007.
- [15] GAY D, HOA S V, TSAI S W. Composite materials: design and applications[M]. Florida: CRC press, 2010.

(上接第39页)

- between Rolls in Reverse Coating under Different Speed Ratio [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [10] 涂伟萍. 水性涂料[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
TU Wei-ping. Aqueous Coatings[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [11] 耀宗. 现代水性涂料[M]. 北京:中国石化出版社, 2005.
YAO Zong. Modern Aqueous Coatings[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2005.
- [12] 陈珍树. 水性丙烯酸氨基烤漆的制备和性能研究[J]. 中国涂料, 2008, 23(8):39—43.
CHEN Zhen-shu. Preparation and Property Study of Water-borne Acrylic Amino Baking Coatings[J]. China Coating, 2008, 23(8):39—43.
- [13] 威克斯, 琼斯, 帕巴斯. 有机涂料科学和技术[M]. 经桴良, 姜英涛, 译. 北京:化学工业出版社, 2002:119—120.
WICKS Z W, JONES F N, PETER S. Organic Coatings Science and Technology[M]. JING Fu-liang, JIANG Ying-tao, Translated. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:119—120.
- [14] 张亚林. 镀锌机组辊涂机故障分析与改进[J]. 上海金属, 2008(9):55—56.
ZHANG Ya-ling. Analysis of Roll Coater Fault in Galvanizing Line and Its Improvement[J]. Shanghai Metals, 2008(9):55—56.
- [15] 洪婷. 耐高温水性金属闪光烘烤漆的制备与性能研究[D]. 广州:华南理工大学, 2013.
HONG Ting. Preparation and Study of Properties of High-temperature Resisted Water-Based Metallic Baking Paint[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.