

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.04.015

精致化纸浆模塑制品及关键制备工艺参数优化

张洪波¹, 赵子怡¹, 孙昊^{1,2}, 王利强^{1,2}, 钱怡¹, 张新昌^{1,2}

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122;
2. 江南大学江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏无锡 214122)

摘要:为制备精致化纸浆模塑制品并研究关键加工工艺参数对其平滑度、光泽度的影响,以牛皮纸二次纤维为原料,在全自动纸浆模塑机组上进行实际生产操作试验,用SPSS软件进行极差分析和重复方差分析,对关键加工工艺参数进行分析优化,得出较优的工艺参数为:打浆度 25 °SR、施胶剂用量 1.5%、热压整型温度 110 °C 和压力 5 MPa。各参数影响的主次顺序为:热压压力 > 打浆度 > 施胶剂用量 > 热压温度。研究表明提高热压压力,增加施胶剂用量,调节打浆度和热压温度均可提高纸浆模塑制品的平滑度和光泽度。

关键词:纸浆模塑;热压;打浆度;二次纤维

中图分类号:TB484.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)04-0072-04

Refined Pulp Molding Products and Optimization of Process Parameters

ZHANG Hongbo¹, ZHAO Ziyi¹, SUN Hao^{1,2}, WANG Liqiang^{1,2}, QIAN Yi¹, ZHANG Xinchang^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: In order to prepare fine pulp molding products and study the effect of their surface smoothness and gloss by the key process parameters. Using Kraft secondary fiber as raw material, the paper started the actual production operation test on automatic pulp molding machine. Range analysis and variance analysis were used to optimize the process parameters, the optimum process parameters were: pulp freeness 30°SR; sizing amount 1.5%; temperature 110 °C; pressure 5 MPa. The primary and secondary effect order of parameters was: the pressure > the pulp freeness > the amount of rosin > the temperature. The result showed that improving hot pressure, increasing the amount of sizing agent, adjusting freeness and pressing temperature could all improve the surface smoothness and gloss of molded pulp products.

Key words: molded pulp; hot pressing technology; pulp freeness; secondary fiber

近年来,纸浆模塑制品(简称纸模制品)作为一种绿色环保材料逐渐应用于高档电子产品(如 iPad、iPhone 等)包装。但是我国已有的纸模制品表面处理技术仅局限于实验室研究阶段,很少结合实际生产研究优化工艺。根据阳离子分散松香胶施胶原理^[1-4]和实验室预试验结果,确定施胶剂用量、打浆度、热压温度和压力为影响纸模制品表观形态的关键工艺参数^[5-9]。试验以牛皮纸二次纤维为原料,在全自动纸浆模塑机组上进行实际生产操作试验,制备试样,测定摩擦因数和光泽度,优化上述几项工艺参数,为在工业生产中制备精致化纸浆模塑制品提供一定参考依据。

1 施胶原理及测试原理

1.1 阳离子分散松香胶施胶原理

阳离子分散松香胶在施胶的过程中,会和铝离子吸附在带有负电荷的纸纤维上。在加热加压的情况下,松香黏度降低,松香分子布朗运动加快,均匀分布在纸纤维表面,和铝离子反应生成松香酸铝盐,在纸模表面生成胶膜,提高平滑度和光泽度。

1.2 测试原理

纸模制品一般有 4 种表观形态,见图 1。当采用空气泄露法测平滑度时,纸模表面承受很大的压力,产生较大变形,不能准确体现自由状态下的平滑度;根据

收稿日期:2016-03-11;修回日期:2016-04-30

作者简介:张洪波(1990),男,山东阳谷人,硕士研究生,主要从事包装材料与制品研究。通信作者:张新昌(1961),男,江南大学教授,硕士生导师,主要研究方向为产品包装技术、包装材料与制品。E-mail:zxc89@126.com

纸模制品的表观形态并参考相关文献试验,决定用摩擦因数表征纸模制品的平滑度^[10-12]。由图1可以看出,纸模制品的表观形态与未涂布的纸或纸板较接近,所以借鉴纸与纸板的光泽度测定方法,并采用75°光泽度测定法进行测试。

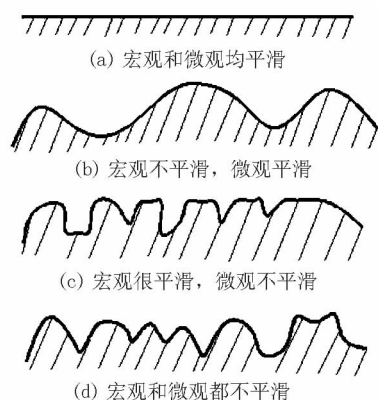


图1 纸模制品常见表观形态

Figure 1 Common apparent of pulp molded products

2 试验

试验用牛皮纸二次纤维来自实验室重型瓦楞纸板的面纸(牛皮纸材料);阳离子分散松香胶为实验室制备;全自动纸浆模塑机组主要包括水力碎浆机、浆池及搅拌装置、纸浆模塑成型机、热压整形机等主体设备以及空气压缩机、真空泵、真空分离水罐、电气控制台等功能性设备。

将牛皮面纸浸泡5 h后倒入水力碎浆机中搅碎,按时间控制打浆度,浆料细化到指定打浆度后,输送到浆池,加入定量阳离子分散松香胶及助剂,开启搅拌,搅拌10 min后,浆料输送到纸浆模塑成型机上成型,成型过后移到热压整形机上整形5 min^[13-14]。试样制备完成后用MXD-01型摩擦因数仪测摩擦因数,用PN-GM型光泽度仪测光泽度。

以打浆度和施胶剂用量、热压温度、热压压力为试验因素,用SPSS软件进行极差和重复试验方差分析,正交试验因素如表1所示,其中施胶剂占绝干浆百分比 B 表示施胶剂中松香含量占绝干浆的百分比。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factor level table of orthogonal experiments

水平	打浆度 $A/^{\circ}\text{SR}$	施胶剂占绝干 浆百分比 $B/\%$	热压温度 $C/^{\circ}\text{C}$	热压压力 D/MPa
1	20	0.5	80	3
2	25	1.0	110	4
3	30	1.5	140	5

3 结果与分析

3.1 正交试验

为综合分析各参数对纸模制品表观性能的影响,下面根据表1的因素水平设计正交试验,采用 $L_9(3^4)$ 正交表,每组工艺做4次光泽度测试重复试验、3次摩擦因数测试重复试验,正交试验结果见表2。

表2 正交试验结果

Table 2 Orthogonal experiment results

试验 序号	打浆度 $A/^{\circ}\text{SR}$	施胶剂占 绝干浆百 分比 $B/\%$	热压温 度 $C/^{\circ}\text{C}$	热压压力 D/MPa	光泽度/ GU	摩擦 因数
1	20	0.5	80	3	5.90	0.429
2	20	1.0	110	4	8.25	0.397
3	20	1.5	140	5	12.25	0.341
4	25	0.5	80	5	13.15	0.385
5	25	1.0	110	3	9.33	0.442
6	25	1.5	80	4	8.18	0.379
7	30	0.5	140	4	7.63	0.440
8	30	1.0	80	5	13.80	0.392
9	30	1.5	110	4	9.14	0.458

3.2 工艺参数对纸模制品光泽度的影响

对纸模制品表面光泽度进行正交试验极差分析和重复试验方差分析,结果见表3和表4。表4中: D_{df} 为自由度, F 为组方差值, S_{sig} 为检验值。

表3 纸模制品光泽度正交试验极差分析表

Table 3 Range analysis of Gloss GU

因素	光泽度总和均值			极差 R
	水平1	水平2	水平3	
A	8.80	10.22	10.19	1.42
B	8.89	10.46	9.86	1.57
C	9.29	10.18	9.74	0.89
D	8.12	8.02	13.07	5.05

按照极差大小分析4个参数影响光泽度的主次顺序:热压压力>施胶剂用量>打浆度>热压温度。当热压压力为3 MPa时,光泽度均值为8.12 GU;压力提高到5 MPa时,光泽度均值变为13.07 GU,提高61%。说明压力可以使含有一定水分、纤维分布分散的纸坯密实化,使制品表面趋近于宏观、微观均平滑状态,从而使光泽度提高。打浆度为25 $^{\circ}\text{SR}$ 时,光泽度均值达到最高,说明提高打浆度可以使纤维细化,和松香粒子充分结合,形成胶膜,光泽度提高;但纤维过短会有轻微的起毛现象,使光泽度降低;纤维过长会在加工中产生扭曲现象形成空隙,使纸张光泽度降低。施胶剂用量从1.0%提高到1.5%时,光泽度提高10.9%,说明提高施胶剂用量可以增加松香粒子在纸纤维上的附着

量,从而提高制品表面光泽度。热压温度达到 110 ℃ 时,光泽度均值达到最高,说明温度过低时,纸模制品表面的松香胶不能够有效软化,松香粒子不能完全在制品表面形成胶膜;温度过高,制品表面的水蒸发过快,软化的松香粒子不能够均匀地铺展开,导致微观不平滑。

光泽度改善较优的工艺为:打浆度 25 °SR、施胶剂用量 1.0%、热压温度 110 ℃、热压压力 5 MPa。

表 4 纸模制品光泽度正交试验方差分析表

Table 4 Variance analysis of Gloss

名称	Ⅲ型平方和	D_{df}	均方	F 值	S_{sig}	显著性
A	15.732	2	7.866	14.658	0.000	* *
B	14.983	2	7.492	13.960	0.000	* *
C	4.726	2	2.363	4.403	0.022	*
D	199.898	2	99.949	186.249	0.000	* *
误差	14.489	27	0.537			

校正模型的 S_{sig} 值小于 0.01,说明该方差模型极显著,因素对试验结果有很大的影响。由表 4 可见,热压压力、打浆度和施胶剂用量均影响极显著,热压温度影响显著。由 F 值判断影响力大小:热压压力 > 打浆度 > 施胶剂用量 > 热压温度,这与极差分析结果一致。

由上述的影响顺序可知,在实际生产过程中,增加热压压力和打浆时间是提高制品光泽度的最有效方法。热压过程中,热压压力有以下作用:①将制品表面压平;②促进施胶剂流动,填充到空隙中;③使纤维更加紧密,整个制品更加平整。这些作用综合起来对制品表现状态影响很大。提高打浆度可以使纤维细化,更加充分地松香粒子结合,形成胶膜,并增加纤维之间的结合力,过大时可能产生起毛现象降低表现性能,打浆度通过这种方式对纸模表现状态起到影响作用。热压温度和施胶剂对制品表面光泽度的影响机理如下:温度升高至松香的软化点时会降低松香的黏度,松香分子在高温和高压下布朗运动加快,分散至纤维的外表面,松香粒子与纤维界面之间的链接或极性基团距离缩小,当距离缩小至 10^{-6} nm 时,松香粒子便和附着在纤维上的 Al^{3+} 结合,在纤维表面形成一层胶膜,达到提高光泽度的效果。虽然热压温度和施胶剂共同作用可提高光泽度,但是试验中因素 B(松香胶占绝干浆的百分比)的值变化较小,而且松香的软化温度为 80 ℃ 左右,温度参数的最低值已经达到要求,温度升高对松香的软化影响不大,所以施胶剂用量和温度对光泽度的影响力相对较小。

3.3 工艺参数对纸模制品平滑度的影响

对纸模制品表面平滑度进行正交试验极差分析和

重复试验方差分析,结果见表 5 和表 6。

表 5 纸模制品平滑度正交试验极差分析表

Table 5 Range analysis of coefficient of friction

因素	摩擦因数总和均值			极差 R
	水平 1	水平 2	水平 3	
A	0.39	0.40	0.43	0.04
B	0.42	0.41	0.39	0.03
C	0.40	0.41	0.41	0.01
D	0.44	0.41	0.37	0.07

按照极差的大小来分析 4 个参数影响制品平滑度的主次顺序:热压压力 > 打浆度 > 施胶剂用量 > 热压温度。热压压力由 3 MPa 提高到 5 MPa 时,摩擦因数均值降低 15.9%,说明提高热压压力可以提高纤维的紧密度,同时促使制品表面的施胶剂在纤维之间的空隙流动,施胶更加均匀,纸模制品的平滑度提高。当打浆度由 20 °SR 提高到 30 °SR 时,摩擦因数上升,可能是因为打浆度提高,虽然纤维的比表面积增大,可以更好地与松香粒子结合,但是纤维没有细小到可以充分填充到表面缝隙的程度,在制品表面形成更多硬质的纤维痕迹,导致宏观不平滑,平滑度下降。施胶剂用量从 0.5% 提高到 1.5% 时,摩擦因数降低 7.1%,平滑度提高,说明提高施胶剂用量可以增加松香粒子在纸纤维上的附着量,从而提高制品表面平滑度。热压温度由 80 ℃ 提高到 140 ℃ 时,摩擦因数的变化并不明显,说明 80 ℃ 纸模制品表面的松香大部分已经软化,分布于表面,继续升高温度,虽然有更多松香填充与纤维间的缝隙中,但是摩擦因数对于这种细小的纤维缝隙数量的改变并不敏感,所以此时虽然光泽度值变化较大,但摩擦因数几乎没变。

平滑度改善较优的工艺为:打浆度 20 °SR、施胶剂用量 1.5%、热压温度 80 ℃、热压压力 5 MPa。

表 6 纸模制品平滑度正交试验方差分析表

Table 6 Variance analysis of coefficient of friction

名称	Ⅲ型平方和	D_{df}	均方	F 值	S_{sig}	显著性
A	0.008	2	0.004	37.829	0.000	* *
B	0.003	2	0.002	14.544	0.000	* *
C	0.001	2	0.000	3.859	0.040	* *
D	0.022	2	0.011	106.746	0.000	* *
误差	0.002	18	0.000			

对于非网面平滑度,校正模型的 S_{sig} 值小于 0.00,该方差模型极显著。由方差分析表可见,4 个工艺参数对平滑度均有极显著的影响,由 F 值判断影响力的大小为:热压压力 > 打浆度 > 施胶剂用量 > 热压温度,这与极差分析结果一致。

由上述的影响顺序可知,与施胶剂用量和热压温度相比,热压压力和打浆度对纸模制品的平滑度影响更显著,所以在实际生产过程中,提高打浆度和增加热压压力可以更快捷地提高制品的表面平滑度。

3.4 综合分析

1) 打浆度 A 。当数值为 25°SR 时,光泽度达到最好;数值为 20°SR 时,平滑度最好。但是由 20°SR 提高到 25°SR 时,光泽度提高 16.1% ,摩擦因数提高 2.6% ,综合分析选 25°SR 。

2) 施胶剂用量 B 。随着用量增加,光泽度呈上升的趋势,用量由 0.5% 升到 1.5% 时,光泽度提高 10.9% ;用量为 1.5% 时,平滑度达到最好,综合分析选 1.5% 。

3) 热压温度 C 。温度为 110°C 时,光泽度最高;温度为 80°C 时,平滑度最好。但是由 80°C 提高到 110°C 时,光泽度提高 9.6% ,摩擦因数下降 2.5% ,综合分析选 110°C 。

4) 热压压力 D 。当压力为 5 MPa 时,光泽度和平滑度均达到最佳,综合分析选 5 MPa 。

综上,最优工艺参数为:纸浆打浆度 25°SR 、施胶剂用量 1.5% 、热压整型温度 110°C 和压力 5 MPa 。该工艺参数并不包含于 9 组正交试验中,所以需要做一个验证试验。根据最优工艺参数制备样品的光泽度为 13.95 ,摩擦因数为 0.337 。图 2 为最优工艺参数下的试样与未施胶、热压空白试样的对比照。

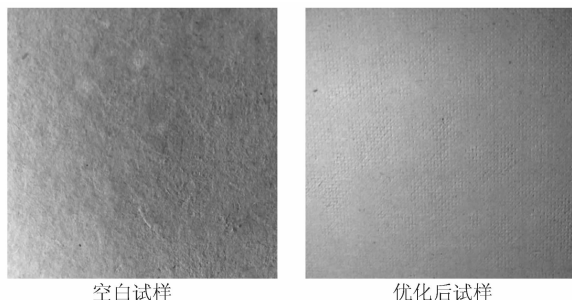


图 2 优化后试样与空白试样的对比图

Figure 2 Contrast of samples before and after internal treatment

4 结论

通过对光泽度和平滑度指标的较优工艺参数综合

分析,得出较优工艺参数为:纸浆打浆度 25°SR 、施胶剂用量 1.5% 、热压整型温度 110°C 和压力 5 MPa 。

各工艺参数对精致化纸模制品平滑度和光泽度影响的主次顺序为:热压压力 > 打浆度 > 施胶剂用量 > 热压温度。在实际生产过程中,提高热压压力,增加施胶剂用量,调节打浆度和热压温度均可提高纸浆模塑制品的平滑度和光泽度。

试验中的试样是在纸浆模塑机组上制备的,高度接近实际生产环境。实际生产操作中,可以参考优化工艺参数,并结合各参数影响力大小来调整工作参数,制备较优表现性能的精致化纸模制品。

参考文献:

- [1] 陈梅燕. 硫酸铝在阳离子分散松香胶施胶中的作用[J]. 中国造纸学报, 2008, 23(4): 86-89.
- [2] 任天日, 李小瑞, 费贵强, 等. 反应型阳离子高分子乳化剂合成及其对 AKD/松香乳化性能的研究[J]. 中华纸业, 2010, 31(2): 27-31.
- [3] EHRHARDT S M, EVANS B D. Rosin/hydrocarbon resin size for paper: US 556273997[P]. 2001-08-14.
- [4] 吴定新. 松香胶施胶机理及其进展[J]. 北京林业大学学报, 1995 (增刊 2): 124-129.
- [5] 江仲文, 吴其叶. 纸浆模塑制品成型技术的新进展[J]. 轻工机械, 1997(3): 3-6.
- [6] 杨广衍, 王际超. 全自动纸浆模塑机组干燥过程工艺参数的优化[J]. 轻工机械, 2001(4): 14-15.
- [7] 张新昌, 梁炬, 周防国, 等. 我国纸浆模塑工业包装的现状与发展[J]. 包装工程, 2003, 24(1): 4-7.
- [8] 姚培培, 肖生苓, 岳金权. 不同干燥方式对纸浆模塑材料性能的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 22-28.
- [9] 黄丽飞, 和克智. 纸浆模塑制品热压整形适宜湿度的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(5): 33-35.
- [10] 杨保宏, 李志健. 表面涂布对纸张光泽度和印刷光泽度影响的研究[J]. 造纸科学与技术, 2011, 30(1): 19-21.
- [11] 刘洋. 纸浆模塑包装制品的表现处理技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 45-50.
- [12] 汪欣. 浆内助剂改善纸模制品表现平滑度的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 10-14.
- [13] HUO Lijing, SAITO K. Multidimensional life cycle assessment on various moulded pulp production systems[J]. Packaging technology and science, 2009, 22(5): 261-273.
- [14] 王博. 纸浆模塑制品干燥机理研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2011: 25-31.