

瓦楞纸用淀粉粘合剂微波干燥工艺研究

白文雪, 章 军, 吕 兵

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 为了提高瓦楞纸板的生产效率, 提出了微波干燥瓦楞纸板的方法。通过单因素试验和正交试验, 分别研究了微波功率、干燥时间、施胶量和加压时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响。结果表明, 微波干燥的最佳条件是微波功率为 600 W, 干燥时间为 50 s, 施胶量为 55 g/m², 加压时间为 10 min, 该工艺参数下瓦楞纸板边压强度和粘合强度分别达到 7618 N/m 和 864 N/m, 符合产品的生产要求。

关键词: 瓦楞纸板; 淀粉粘合剂; 微波干燥; 工艺参数

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)17-0033-05

Microwave Drying Progress for Corrugated Cardboard Starch Adhesive

BAI Wen-xue, ZHANG Jun, LYU Bing

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to improve the production efficiency of corrugated cardboard, microwave drying process was put forward. The influence of microwave power, the drying time, amount of glue and pressure time on edgewise crush resistance and bond strength of the corrugated cardboard was studied through single factor and orthogonal experiments. The result showed that the optimal technological parameters are microwave power 600 W, the drying time 50 s, the amount of glue 55 g/m², and pressure time 10 min. Under the optimal technological parameters, the edgewise crush resistance and bond strength are up to 7618.32 N/m and 864.33 N/m respectively, conforming to the requirements of product.

Key words: corrugated cardboard; starch adhesive; microwave drying; technological parameter

瓦楞纸板是制造各类瓦楞纸箱的基材, 它是由箱板纸和瓦楞芯纸粘合而成的板状物^[1]。由于瓦楞纸板具有质轻、抗压、耐戳穿、抗撕裂、防震、易加工成型、良好的装潢印刷适性和能够循环利用等优点, 因而其应用范围越来越广, 发展速度也越来越快^[2]。目前瓦楞纸板在制造时主要使用淀粉粘合剂^[3], 但淀粉粘合剂含水量高达 60% ~ 70%, 导致瓦楞纸板含水率普遍较高^[4], 干燥速度较慢, 其中的水分在干燥时又会向纸内渗透, 使初粘力下降。另外还会导致纸箱初期含水量高, 从而常出现跑边、塌楞、分切时连刀等现象, 尤其是存在耐水性差的缺点, 使它在应用时受到限制^[5]。为此如何使瓦楞纸板在生产过程中实现淀粉粘合剂的快速高效干燥, 已经成为研究热点。

从 20 世纪 80 年代起, 国外就已经将微波干燥技术引进到造纸机中, 而我国自 20 世纪初才开始涉足微波应用整机的研究、生产、开发等工作^[6]。传统的瓦楞纸板生产线主要使用热风烘干设备, 其设备复杂, 且能耗较高。微波干燥是一种环保型干燥技术, 具有升温速度快、加热均匀、节约能耗等优点^[7]。目前对微波用于食品类物质干燥的文献报道已经很多^[8], 但对于将其应用于瓦楞纸板干燥的工艺报道极少。

利用微波干燥瓦楞纸板粘合剂, 分别研究了微波功率、干燥时间、施胶量和加压时间等 4 个因素对瓦楞纸板粘合强度的影响, 并筛选出 3 个影响因素采用正交试验对最佳工艺条件进行优化, 以期对瓦楞纸板

收稿日期: 2013-07-04

作者简介: 白文雪(1988-), 女, 山东人, 江南大学硕士生, 主攻包装材料与结构。

粘合剂微波干燥工艺提供依据。

1 试验

1.1 材料

实验材料:瓦楞芯纸,定量 170 g/m^2 ,瓦楞面纸,定量 250 g/m^2 ,苏州万国纸业包装有限公司;氧化玉米淀粉,诸城兴贸玉米开发有限公司;氢氧化钠,AR分析纯,上海市国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器

实验仪器:DK-8D 电热恒温水槽,上海精宏实验设备有限公司;JJ-1 电动搅拌机,江苏省金坛市金城国胜实验仪器厂;GT-6011 微电脑环压试验机,台湾高铁科技股份有限公司;NJL07-3 型实验专用微波炉,南京杰全微波设备有限公司;DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;DM6801B 电子温度计,上海飞龙仪表电器有限公司;JA21002 电子天平,上海精密科学仪器有限公司;YQ-ZB-25 瓦楞纸板边压取样器,杭州轻工检测仪器厂;DM6801B 电子温度计,上海飞龙仪表电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 微波输出功率的测量^[9]

用 1000 mL 的去离子水放入谐振腔中加热数分钟,假设能量全部被水吸收,没有对流、传导引起的热损失,则根据加热前后水的温度差由公式(1)计算出的数值即为微波输出功率。

$$Q = Q_{\text{abs}} = \frac{mc_p \Delta T}{t} = \frac{4178 \Delta T}{t} \quad (1)$$

式中: Q 为磁控管单位时间输出的微波能(W); Q_{abs} 为样品单位时间吸收的微波能(W); m 为样品的质量(kg); c_p 为样品的比热($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$); ΔT 为样品的温升变化($^{\circ}\text{C}$); t 为微波加热的时间(s)。

标准的试验程序为:1000 g 去离子水放在温度为 5°C 的冰箱中降温平衡,然后放入微波炉中常压加热数分钟,加热时间的长短主要根据加热后的水温必须超过室温(18°C) 5°C 以上,取出后快速搅拌,用热电偶测量水温。每档功率测定 3 次,取平均值。

1.3.2 淀粉粘合剂的制备

在反应容器内加入 40 mL 水,将其放在 $58 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 的水浴锅中预热,边搅拌边加入 10 g 氧化玉米淀粉,再缓慢加入 10 mL 质量分数为 10% 的 NaOH 溶液,搅拌 30 min,直到乳液变为半透明糊状,室温冷却

后即得到实验用淀粉粘合剂。

1.3.3 瓦楞纸板的制备

取面纸和单面瓦楞纸板各 $110\text{ mm} \times 140\text{ mm}$,其中沿瓦楞方向为 140 mm。在瓦楞芯纸上涂布一定量的粘合剂,再把面纸贴合到瓦楞芯纸上,用重为 15 N 的玻璃板对其加压一段时间后,即得到实验用瓦楞纸板。

1.3.4 施胶量的测定^[10]

先称量未涂布时瓦楞芯纸和面纸的质量为 m_1 ,涂布淀粉粘合剂后芯纸和面纸的质量为 m_2 ,则:

$$\text{施胶量} = m_2 - m_1 \quad (2)$$

实验中的施胶量是指在 $110\text{ mm} \times 140\text{ mm}$ 的瓦楞纸板上施胶的克数换算成在单位面积上的施胶克数。

1.3.5 边压强度的测定^[11]

切取沿瓦楞方向为短边的矩形试样,其尺寸为 $(25 \pm 0.5)\text{ mm} \times (100 \pm 0.5)\text{ mm}$ 。将试样置于微电脑环压试验机下压板的正中,使试样的短边垂直于两压板,再用导块支持试样,使之端面与两压板之间垂直,两导块彼此平行且垂直于试样的表面。开动试验机,施加压力。当加压接近 50 N 时移开导块,直至试样压溃。记录试样所能承受的最大压力,精确至 1 N。

垂直边缘抗压强度按式(3)进行计算,以 N/m 表示为:

$$E = \frac{F \times 10^3}{L} \quad (3)$$

式中: E 为垂直边缘抗压强度(N/m); F 为最大压力(N); L 为试样长边的尺寸(mm)。

1.3.6 粘合强度的测定^[12]

在瓦楞纸板边压试样取样器上,从样品中切取 $25\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 的瓦楞纸板试样,瓦楞方向与 25 mm 尺寸线的方向一致。先将被测试样装入附件,然后将其放在微电脑环压试验机下压板的中心位置。开动试验机,以 $(12.5 \pm 2.5)\text{ mm/min}$ 的速度对装有试样的附件施压,直至楞峰和面纸分离为止。记录显示的最大力,精确至 1 N。

计算所有测试平均值,然后计算瓦楞纸板的粘合强度为:

$$P = \frac{F \times 10^3}{(n-1)L} \quad (4)$$

式中: P 为粘合强度(N/m); F 为试样全部分离时所需的最大力(N); n 为插入式样的针根数; L 为试

样短边的长度,即 0.025 m。

1.3.7 单因素试验

通过改变瓦楞纸板的施胶量和加压时间,将瓦楞纸板试样放入实验用微波炉内,设定微波功率和时间对瓦楞纸板进行干燥。分别探讨施胶量、微波功率、干燥时间和加压时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响。

1.3.8 正交试验设计

在单因素试验基础上,筛选出微波功率、干燥时间和施胶量 3 个因素利用 L9(3⁴) 正交表进行试验^[13],通过测定瓦楞纸板的粘合强度和边压强度优选最佳工艺条件,见表 1。

表 1 正交实验因素与水平

Tab.1 Factors and levels of the orthogonal experiment

水平	因素		
	功率 A/W	时间 B/s	施胶量 C/(g · m ⁻²)
1	500	50	50
2	600	60	55
3	700	70	60

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

2.1.1 施胶量对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

选择微波功率为 400 W,干燥时间为 50 s,加压时间为 10 min,通过改变施胶量,测得不同施胶量对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响,结果见图 1。

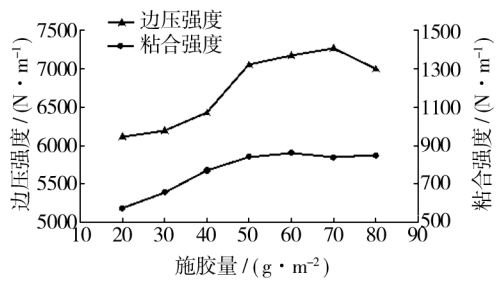


图 1 施胶量对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

Fig.1 Effect of glue amount on edgewise crush resistance and bond strength of the corrugated cardboard

由图 1 可见,当施胶量低于 50 g/m² 时,由于施胶量太少,粘合不足,剥开纸板所需的剥离力就小,粘合强度也就小,边压强度也差;随着施胶量的增加,粘

合剂开始充分向面纸和芯纸渗透,强度也随之增加。当施胶量超过 60 g/m² 时,多余的粘合剂被排挤到瓦楞波峰的两侧,造成施胶线条变宽变大,这些过量的粘合剂经干燥后产生收缩。此收缩力对瓦楞面纸产生波向拉力使纸板收缩变形,从而影响了瓦楞纸板的粘合强度。综合考虑边压强度和粘合强度,施胶量选择 50 ~ 60 g/m² 较适宜。

2.1.2 干燥时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

选择微波功率为 500 W,施胶量为 60 g/m²,加压时间为 10 min,改变微波干燥时间,测得不同干燥时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响,结果见图 2。

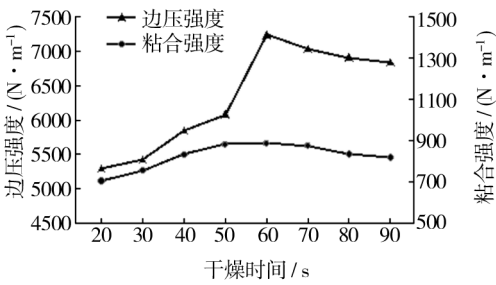


图 2 干燥时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

Fig.2 Effect of drying time on edgewise crush resistance and bond strength of the corrugated cardboard

由图 2 可以看出,边压强度和粘合强度随着干燥时间的增加而增大;在微波干燥的初始阶段,微波能量主要作用于水分的蒸发;在频繁交变的电磁场作用下,粘合剂中的水分子极化。极化的水分子迅速旋转,互相摩擦产生热量,使淀粉颗粒迅速膨胀,从而加热干燥纸板,使边压强度和粘合强度增加,边压强度在 60 s 达到最大值,粘合强度在 50 s 时达到最大值。此后随着干燥时间的增加,微波开始干燥纸板中的水分,从而导致纸板变脆,使强度略有下降。同时还发现,干燥时间过长,瓦楞纸板有局部过热至焦糊的情况出现。综合考虑边压强度和粘合强度等因素,选择干燥时间为 50 ~ 60 s 较适宜。

2.1.3 微波功率对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

控制干燥时间为 60 s,施胶量为 60 g/m²,加压时间为 10 min,改变微波功率,测得微波功率对瓦楞纸板边压强度和粘合强度影响见如图 3。

从图 3 可以看出,随着微波功率的增加,瓦楞纸

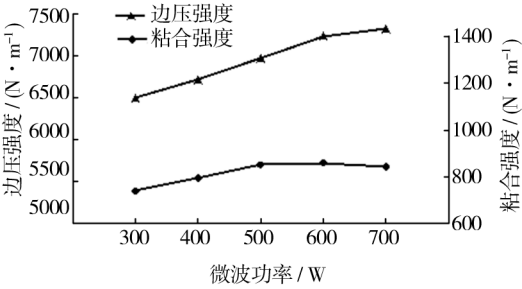


图3 微波功率对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响
Fig.3 Effect of microwave power on edgewise crush resistance and bond strength of the corrugated cardboard

板的强度呈增加趋势,600 W 时边压强度达到最大值,粘合强度在 500 W 时达到最大值。之后随着功率的增加,粘合强度有下降趋势,这可能是由于随着微波功率的增加,相同时间内淀粉粘合剂升温速度加快,不利于淀粉粘合剂向纸板的渗透,从而使胶层变脆,影响了面纸与芯纸的粘合。综合考虑边压强度和粘合强度等因素,选择微波功率为 500 ~ 600 W 较适宜。

2.1.4 加压时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响

控制干燥时间为 60 s,施胶量为 60 g/m²,微波功率为 600 W,改变施加压力时间,测得瓦楞纸板边压强度和粘合强度的变化见图 4。

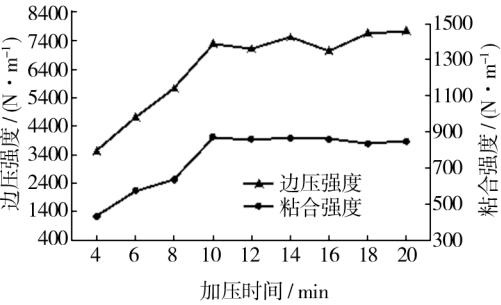


图4 加压时间对瓦楞纸板边压强度和粘合强度的影响
Fig.4 Effect of pressure time on edgewise crush resistance and bond strength of the corrugated cardboard

由图 4 可以看出,瓦楞纸板的边压强度和粘合强度随加压时间的变化趋势是相似的。时间少于 10 min 时,随着时间的增加,有利于淀粉粘合剂向纸板的延伸、渗透,从而强度增加。时间大于 10 min 以后,强度随加压时间的增加呈相对平缓的变化趋势,

这是由于淀粉粘合剂已经充分渗透,不会再随时间的增加而有较大改变。综合考虑边压强度和粘合强度,加压时间控制在 10 min 比较合适。

2.2 微波干燥瓦楞纸板工艺正交试验优化

根据微波干燥的单因素试验结果,以瓦楞纸板边压强度和粘合强度为目标参数,筛选出微波功率、干燥时间和施胶量 3 个因素,选用 L9(3⁴) 正交表进行设计实验,因素水平设计见表 1,结果见表 2。

表 2 正交表实验设计与结果

Tab.2 Orthogonal array design and results

试验号	A	B	C	边压强度 R $/(N \cdot m^{-1})$	粘合强度 P $/(N \cdot m^{-1})$
1	1	1	1	7704	785
2	1	2	2	7475	690
3	1	3	3	7500	703
4	2	1	2	7618	864
5	2	2	3	7668	767
6	2	3	1	7475	760
7	3	1	3	7324	721
8	3	2	1	7486	823
9	3	3	2	7404	844
K_{E1}	22 679	22 646	22 665		
K_{E2}	22 761	22 629	22 497		
K_{E3}	22 214	22 379	22 491		
K_{P1}	2178	2370	2367		
K_{P2}	2391	2279	2398		
K_{P3}	2388	2307	2191		
R_E	548	268	174		
R_P	213	91	207		

由表 2 可知:各因素对瓦楞纸板边压强度的影响的主次顺序依次为 A>B>C,即微波功率>干燥时间>施胶量,较优组合为 A₂B₁C₁。各因素对瓦楞纸板粘合强度的影响的主次顺序依次为 A>C>B,即微波功率>施胶量>干燥时间,较优组合为 A₂B₁C₂。由于施胶量对粘合强度的影响比对边压强度的影响大,所以最佳组合选择 A₂B₁C₂,即微波功率为 600 W,干燥时间为 50 s,施胶量为 55 g/m²,此条件下边压强度为 7618 N/m,粘合强度为 864 N/m。

3 结论

微波功率过大,时间过长都不利于淀粉胶膜的形

成,从而降低了纸板的边压强度和粘合强度。施胶量的大小也直接影响纸板的强度。通过正交试验得出微波干燥瓦楞纸板的最佳工艺参数为:微波功率为600 W,干燥时间为50 s,施胶量为55 g/m²,此时瓦楞纸板边压强度达到7618 N/m,粘合强度达到864 N/m,符合产品的生产要求。

运用微波技术对瓦楞纸板进行干燥,不仅大大提高了瓦楞纸板的生产效率,而且由于微波技术的电磁辐射,能够有效缓解纸板生产中的环境污染问题,对瓦楞纸板生产量的迅速增长具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘喜生. 包装材料学[M]. 吉林: 吉林大学出版社, 2009: 41.
LIU Xi-sheng. Packing Materials[M]. Jilin: Jilin University Press, 2009: 41.
- [2] 曾鸥. 瓦楞纸板生产过程中废料的产生及控制研究[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 275-278.
ZENG Ou. Research on the Production and Control of Wasted Material in the Manufacture of Corrugated Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 275-278.
- [3] ZHOU Shuang-jie, HAWLEY Martin C. A Study of Microwave Reaction Rate Enhancement Effect in Adhesive Bonding of Polymers and Composites[J]. Composite Structures, 2003, 61: 303-309.
- [4] 姬文波. 瓦楞纸板干燥方法及应用[J]. 湖南包装, 2003(3): 34-35.
JI Wen-bo. Corrugated Paperboard Drying Method and Its Application[J]. Hunan Packaging, 2003(3): 34-35.
- [5] 韩永生, 万丽丽. 瓦楞纸板用抗水淀粉胶配方及性能研究[J]. 包装工程, 2002, 23(6): 41-43.
HAN Yong-sheng, WAN Li-li. Study on Formula and Performance of Water-resistance Adhesive Used for Corrugated Board[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(6): 41-43.
- [6] 林润惠, 黎彧, 骆雪萍, 等. 微波干燥扬声器纸盆的试验研究[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(3): 21-23.
LIN Run-hui, LI Yu, LUO Xue-ping, et al. Research on Microwave Drying of Radio Cone Paper[J]. Paper Science & Technology, 2006, 25(3): 21-23.
- [7] 刘宏, 刘温霞. 纸张的微波干燥[J]. 纸和造纸, 1998(2): 52.
LIU Hong, LIU Wen-xia. The Microwave Drying of Paper[J]. Paper and Paper Making, 1998(2): 52.
- [8] 胡晓露, 余小林, 胡卓炎, 等. 龙眼果肉真空微波干燥的数学模型[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 20-25.
HU Xiao-lu, YU Xiao-lin, HU Zhuo-yan, et al. Mathematical Modeling of Microwave Vacuum Drying of Peeled Longan[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(11): 20-25.
- [9] SCHIFFMANN R F. Microwave And Dielectric Drying[M]. New York: In AS. Mujumdar(Eds.), Handbook of Industrial Drying, Marcel Dekker, 1987.
- [10] 黄秀玲. 瓦楞纸板流水线快干粘合剂的研究[D]. 2005: 29-30. (余不详)
HUANG Xiu-ling. Study on Rapid Drying Adhesive Using in Corrugated Board Straight Line System[D], 2005: 29-30.
- [11] GB/T 6546—1998, 瓦楞纸板的边压强度测定[S].
GB/T 6546—1998, Corrugated Fibreboard-determination of Edgewise Crush Resistance[S].
- [12] GB/T 6548—2011, 瓦楞纸板的粘合强度测定[S].
GB/T 6548—2011, Corrugated Fibreboard-determination of Ply Adhesive Strength[S].
- [13] 吴有炜. 试验设计与数据处理[M]. 镇江: 江苏大学出版社, 2002: 85-97.
WU You-wei. Experimental Design and Data Processing[M]. Zhenjiang: Jiangsu University Press, 2002: 85-97.