

技术专论

基于 Taguchi 设计优化纤维-纸蜂窝复合板成型工艺

杨小俊, 兰青山

(湖北工业大学, 武汉 430068)

摘要: 抗压强度是自然纤维-纸蜂窝夹芯结构复合板的关键性能指标。为提高复合板的强度,提出了采用 Taguchi 设计方法与试验相结合,制备自然纤维-纸蜂窝夹芯结构复合板。介绍了复合板成型工艺的全过程,并对结果进行了分析研究,得出了最佳的工艺因素,减少了实验时间和各种资源的浪费,提高了生产率。

关键词: 纸蜂窝夹芯复合板; Taguchi 设计; 工艺

中图分类号: TB484.1; TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)13-0017-04

Optimization of Fiber-Paper Honeycomb Composite Molding Process Based on Taguchi Design

YANG Xiao-jun, LAN Qing-shan

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: The key performance indicator is the compressive strength of natural fiber-paper cellular sandwich composite structures. To improve the strength of the composite, the application of Taguchi design combining test measurement was introduced in the preparation for natural fiber-paper cellular sandwich composite structures, and the process of compound was optimized. The whole process of composites forming was introduced and the test results were analyzed. The optimal factors were obtained finally. The productivity is increasing without the waste of experimental time and resources.

Key words: paper cellular sandwich composite structure; Taguchi design; process

纤维-纸蜂窝夹芯结构复合板是一种由上下 2 层自然纤维,在中间夹六角型的纸蜂窝状芯材,并用胶粘剂胶接模压而成。该类型复合板的制备过程是影响纤维-纸蜂窝夹芯结构复合板抗压强度的主要因素。由于复合板模压成型过程复杂,许多因素相互影响,因此,要想确定这些因素对复合板抗压强度的影响,就必须进行许多次试验。现实中,因多种条件的限制,不可能完成所有试验。为了解决这一问题,笔者尝试采用 Taguchi 设计方法^[1-7]。

1 试验设计

1.1 模压工艺流程

自然纤维-纸蜂窝夹芯结构复合板模压成型的工

艺流程见图 1。

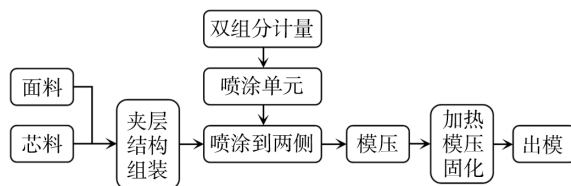


图 1 复合板的模压工艺流程

Fig. 1 Mould pressing technological process

1.2 Taguchi 试验设计

Taguchi 试验设计是在传统试验设计方法基础上的进一步扩展,将噪声因子也当作可控因子,进行试验。拟优选纤维-纸蜂窝结构复合板模压成型工艺,采用 Taguchi 试验方法考察温度、压力、胶合剂的

收稿日期: 2011-04-29

基金项目: 武汉市重点科技攻关计划项目(200910221040);湖北省自然科学基金项目(2008CDZ002)

作者简介: 杨小俊(1970—),女,武汉人,湖北工业大学副教授,主要研究方向为缓冲包装材料、包装动力学等。

配对比纤维-纸蜂窝结构复合板的抗压强度的影响。以纤维-纸蜂窝结构复合板的抗压强度为考察指标(指标越高表示条件越好),进行 3 因子 3 水平的 Taguchi 设计。其中因子的水平根据经验和分析设定,见表 1。

表 1 Taguchi 试验因子和水平的设置
Tab.1 Factors and levels of Taguchi design

因 子	水 平		
	1	2	3
胶合剂配比(A)	*	*	*
压力(B)/kg	*	*	*
温度(C)/℃	*	*	*

根据所考察的因子都是 3 水平以及不考虑交互作用的条件,所以在 3 水平正交表 $L_9(3^4)$, $L_{27}(3^4)$ 中,应当选用 $L_9(3^4)$ 正交表,见表 2。

表 2 实验正交矩阵 $L_9(3^4)$
Tab.2 Orthogonal array $L_9(3^4)$

试验号	试验因素		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

表 3 实验结果

Tab.3 The experimental results

试验号	试验结果/kN			平均值($\bar{x}$) /kN	标准差 δ	信噪比 (S/N_{HB})	信噪比拟合 ($S/N_{HB improved}$)
	1	2	3				
1	2.285	2.439	1.966	2.230	0.241	6.859	7.905
2	2.427	2.599	2.317	2.448	0.142	7.746	6.806
3	2.803	2.977	2.515	2.765	0.233	8.770	8.664
4	5.840	4.839	5.832	5.054	0.576	14.710	14.604
5	5.629	5.680	4.835	5.381	0.474	14.546	15.592
6	6.219	6.281	6.128	6.209	0.077	15.860	14.919
7	6.300	6.686	5.124	6.037	0.814	15.444	14.579
8	4.446	5.766	4.214	4.809	0.837	13.405	13.299
9	3.931	4.698	3.575	4.068	0.574	12.024	13.070

望大:

$$S/N = -10\lg \left[\sum (1/Y^2)/n \right] \tag{1}$$

使响应最大化,且数据为正。

望目:

$$S/N = -10\lg(\sigma^2) \tag{2}$$

1.3 数据处理及结果分析

1.3.1 直观分析

$L_9(3^4)$ 正交表中的试验号不是试验操作的顺序,每一个试验号代表一种试验条件,试验顺序应该按照随机化原则决定。按矩阵表进行试验,对试验考察指标进行测量,经过异常值的检验与剔除,各方案内指标数据均在一定程度上满足正态分布,方案间相应指标数据也都在一定程度上满足方差一致性。试验结果见表 3。

在 Taguchi 试验设计中,信噪(S/N)比是稳健性的度量,用于通过使无法控制的因子(噪声因子)的效应最小化,来确认减小产品或过程中的变异性的控制因子^[5]。控制因子是可以受到控制的设计和过程参数;噪声因子在生产或产品使用过程中无法受到控制,但在试验期间可以受到控制。在 Taguchi 试验设计中,对噪声因子进行操作以强制产生变异,然后从结果中找出使过程或产品健壮(即对来自噪声因子的变异具有抵抗力)的最优控制因子设置。信噪(S/N)比的值较大,表示使噪声因子的效应最小化的控制因子设置。信噪(S/N)比度量响应在不同噪声条件下相对于标称值或目标值如何变化。静态设计中,信噪(S/N)比的值可以由式(1)~(4)计算得出。根据试验的目标,可以从 4 个信噪(S/N)比中进行选择。

以响应为目标,且要使信噪比只以标准差为基础,且数据为正、零或负。

望目(默认):

$$S/N = 10\lg(\bar{Y}^2/\sigma^2) \tag{3}$$

调整后的公式为:

$$S/N = 10\lg[(\bar{Y}^2 - s^2/n)/s^2]$$
 (4)

以响应为目标且要使信噪比以均值和标准差为基础,具有“绝对零”的非负数,其中在均值为零时标准差为零。

望小:

$$S/N = -10\lg[\sum(Y^2)/n]$$
 (5)

使响应最小化,且目标值为零的非负数。

由于本次试验的目标是使纤维-纸蜂窝结构复合板的抗压强度最大化,因此选择望大信噪比。实验分析的结果见图 2-3 和表 4-5。

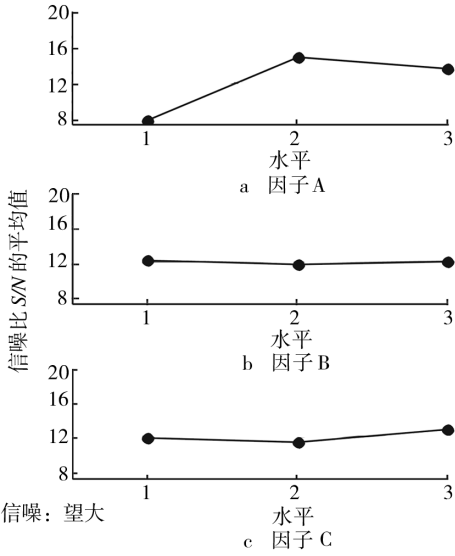


图 2 信噪比 S/N 主效应
Fig. 2 The results of S/N analysis

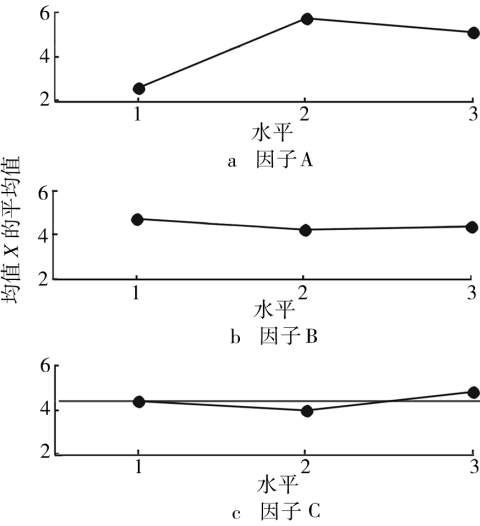


图 3 均值 $\bar{X}$ 主效应
Fig. 3 The results of $\bar{X}$

表 4 信噪比响应表

Tab. 4 S/N responding table

水平	A	B	C
1	7.792	12.337	12.041
2	15.038	11.899	11.493
3	13.624	12.218	12.920
Delta	7.247	0.439	1.427
排序	1	3	2

表 5 均值响应表

Tab. 5 $\bar{X}$ responding table

水平	A	B	C
1	2.481	4.590	4.416
2	5.698	4.213	4.006
3	4.971	4.347	4.728
Delta	3.127	0.378	0.721
排序	1	3	2

1.3.2 方差分析

信噪比的分析结果可以用来认知方差分析,按绝对值排列的系数顺序表示每个因子对响应的相对重要性,系数最大的因子影响也最大。方差分析表中的连续平方和(Seq SS)和调整平方和(Adj SS)也表示每个因子的相对重要性;平方和最大的因子影响也最大。这些结果反映了响应表中的因子秩。试验所得方差分析结果见表 6 和 7。

表 6 信噪比的方差分析

Tab. 6 ANOVA of S/N

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	88.528	88.528	44.264	16.52	0.057
B	2	0.308	0.308	0.154	0.06	0.946
C	2	3.108	3.108	1.554	0.58	0.633
误差	2	5.360	5.360	2.680		
合计	8	97.304				

表 7 均值的方差分析

Tab. 7 ANOVA of $\bar{X}$

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	17.080	17.080	8.540	11.26	0.082
B	2	0.220	0.220	0.110	0.14	0.874
C	2	0.785	0.785	0.392	0.52	0.659
误差	2	1.517	1.517	0.758		
合计	8	19.602				

1.3.3 结果分析

在 Taguchi 试验设计中,每个线性模型分析都提供每个因子低水平的系数、其 P 值以及方差分析表。使用这些结果可以确定因子是否与响应数据显著相关,以及每个因子在模型中的相对重要性^[8-9]。

在此试验中,为信噪比和均值生成了结果。对于信噪比,在 α 水平为 0.10 时因子 A 是显著的;对于均值,胶合剂配比($P=0.082$)的 P 值小于 0.10,因此它是显著的。

响应表显示各个因子每一水平的每个响应特征(信噪比、均值)的平均值。这些表包含基于 Delta 统计量的秩,这些秩用于比较效应的相对量值。Delta 统计量为每个因子的最大平均值减去最小平均值。基于 Delta 值分配秩;将秩 1 分配给最大的 Delta 值,将秩 2 分配给第二大的 Delta 值,依此类推。使用响应表中的水平平均值可以确定每个因子的哪个水平可提供最佳结果。

在此试验中,表中秩 R 表明胶合剂对比对信噪比和均值的影响最大。对于信噪比和均值,温度的影响次之,然后是压力。即 B, C 两因素不显著, A 因素显著,并有 $R_A > R_C > R_B$ 。对于此试验,由于目标是增加纤维-纸蜂窝结构复合板的抗压强度,因此需要能产生最高均值的因子水平。在 Taguchi 试验中,始终都需要使信噪比最大化。响应表中的水平平均值表明,当胶合剂配比为 A_2 ,模具温度为 C_3 ,模具压力为 B_1 时,信噪比和均值达到最大。即确定 $A_2C_3B_1$ 为优选工艺。检查主效应图可以验证这些结果。

2 结果预测

优选工艺 $A_2C_3B_1$ 在试验中没有这个组合,可以通过 Taguchi 试验设计中的预测功能对这个优选工艺的试验结果进行预测。优选工艺对纤维-纸蜂窝结构复合板抗压强度预测分析的结果:信噪(S/N)比为 15.993,均值为 6.249 kN,标准差为 0.544,与试验基本一致。

3 结语

在现实生活中会遇到最佳因素的选择,应用传统的试验方法,经济效益与效率都不高,但应用试验设

计方法就很方便,尤其是应用 Taguchi 试验设计来实现具体的过程,为最佳因素的选择提供了更方便的方法。通过分析实际的工程问题,选择相应的试验设计类型,通过 Taguchi 试验设计进行试验配置,输入试验的结果,并对其进行分析,针对分析结果选择主要因子和水平进行预测,从而得到最佳的因素,减少了实验时间和各种资源的浪费,提高了生产率。

参考文献:

- [1] ZANCHETTIN C, MINKU F L, LUDERMIR T B. Design of Experiments in Neuro-fuzzy Systems[J]. International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2010, 9(2): 137-152.
- [2] FRAGOMENI J M. An Organizational Design of Experiments Statistical Approach to Investigate the Effect of Extrusion Process Manufacturing on the Mechanical Behavior of an Aluminum Alloy[C]//International Conference on Engineering and Technology Management, IEMC 1998, San Juan, 1998: 11-14.
- [3] MONTEVECHI J A B, de PINHO A F, LEAL F, et al. Application of Design of Experiments on the Simulation of a Process in Automotive Industry[C]//Proceedings of the 39th conference on Winter simulation, WSC2007. IEEE Press Piscataway, NJ, 2007: 1601-1609.
- [4] DASCALESCU L, MEDLES K, DAS S, et al. Using Design of Experiments and Virtual Instrumentation to Evaluate the Tribocharging of Pulverulent Materials in Compressed-Air Devices [J]. Industry Applications, 2008, 44(1): 3-8.
- [5] BORECKI J, HACKIEWICZ H, KOZIOL G, et al. Parameters of UV Laser Microvia Formation Based on Taguchi Method of Experiment Design[C]//26th International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE2003. Stara Lesna, Slovak Republic, 2003: 112-116.
- [6] 毛君,尹航,崔闯,等.基于 Minitab 确定最佳参数的实验设计[J].煤矿机械,2008,29(8): 14-16.
- [7] 袁玮.正交试验设计法研究弹药密封包装内部湿度变化规律[J].包装工程,2007,28(2): 50-51.
- [8] 党兰焕,贺敬良,王学军.基于 DOE 优化光学玻璃晶片边缘磨削工艺[J].半导体技术,2010,35(3): 228-232.
- [9] 王潍波,赵国琦,常玉峰,等.利用正交试验设计研究葡萄糖处理豆粕对奶牛过瘤胃蛋白的影响[J].中国奶牛,2010(1): 14-18.