

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.03.010

大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型工艺研究

刘文品,马建忠,杨进军

(中航复合材料有限责任公司,北京 101300)

摘要:根据大尺寸芳纶纸蜂窝特点制定了定型方案,测定了 ACCH 型芳纶纸蜂窝的最佳定型温度,分析了定型烘箱风机频率与风速的关系以及定型时间对芳纶纸蜂窝尺寸收缩率的影响。结果表明,芳纶纸蜂窝定型温度选择时应将芳纶纸玻璃化转变温度与安全定型温度结合考虑,选用 265℃作为定型温度,以保证定型时避免高温炭化燃烧而发生危险;蜂窝定型时定型烘箱内的热循环风速越大、风速均匀性越高越有利于蜂窝定型的一致性,频率为 35 Hz 时,风速普遍低于 1.0 m/s,经过蜂窝块周边孔格的热风受边缘效应的影响,风速较低且偏差大;当频率为 45 Hz 时,循环风速普遍高于 1.25 m/s 以上,且均匀性较好。定型保温 45 min,蜂窝定型 72 h 后长度尺寸收缩率均低于 2.5%。

关键词:大尺寸;芳纶纸蜂窝;定型工艺;风速;尺寸收缩率

中图分类号:TQ327 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2019)03-0051-04

Study on Setting Process of Large Size ACCH Aramid Paper Honeycomb

Liu Wenpin, Ma Jianzhong, Yang Jinjun

(AVIC Composite Corporation Ltd., Beijing 101300, China)

Abstract : Based on the characteristics of large size aramid paper honeycomb, the optimum setting temperature of the ACCH aramid paper honeycomb was measured. The relationship between the frequency of the fan and the wind speed of setting oven, and the effect of setting time on the shrinkage rate of large size aramid paper honeycomb was analyzed. The results show that the glass transition temperature of aramid paper and the safety setting temperature should be taken into consideration when choosing the setting temperature. 265℃ is selected as the setting temperature to avoid the danger of high-temperature carbonization combustion during the setting. The higher the heat circulating wind speed in setting oven, the higher the uniformity of the wind speed, the more conducive to setting consistency. When the frequency is 35 Hz, the wind speed is generally lower than 1.0 m/s, and the hot air passing through the cells around the honeycomb block is affected by the edge effect. The wind speed is low and the deviation is large; when the frequency is 45 Hz, the circulating wind speed is generally higher than 1.25 m/s, and the uniformity is better. The setting heat preservation is 45 min, and after 72 h, length dimensional shrinkage rate is less than 2.5%.

Keywords : large size ; aramid paper honeycomb ; setting process ; wind speed ; shrinkage rate of size

芳纶纸蜂窝芯材具有密度低、比强度、比刚度高、耐腐蚀、吸振以及良好的高温稳定性和透电磁波性能等特性,已在航空航天及功能复合材料领域得到了广泛的应用^[1-6]。

芳纶纸作为芳纶纸蜂窝的一种重要原材料,杜邦芳纶纸一直作为主导,然而近几年,国内芳纶纸及国产芳纶纸蜂窝的研究和产业化取得了长足进展,芳纶纸蜂窝厂家为了增加市场占有率,竞争日趋明显。国产芳纶纸及其蜂窝的力学性能和热性能已达

到与杜邦纸相当的水平^[7-11]。

芳纶纸蜂窝的加工工序主要包括涂胶、热压、拉伸、定型、浸胶、固化等,各个工序的工艺参数对芳纶纸蜂窝的加工过程都有一定的影响^[12-14],定型工艺是芳纶纸蜂窝制备的重要工序之一,是将蜂窝叠层板转变为蜂窝块的关键过程,定型质量将直接影响蜂窝收缩率及尺寸稳定性。

芳纶纸蜂窝定型方法是首先利用拉伸机将蜂窝叠层板拉伸到规定蜂窝孔格尺寸后,为防止拉伸

通讯作者:刘文品,工程师,主要从事芳纶纸蜂窝研制 E-mail: liuwenpin5@163.com

收稿日期:2018-12-26

引用格式:刘文品,马建忠,杨进军. 大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型工艺研究 [J]. 工程塑料应用,2019,47(3):51-54.

Liu Wenpin, Ma Jianzhong, Yang Jinjun. Study on setting process of large size ACCH aramid paper honeycomb[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):51-54.

后的蜂窝块回缩,先将蜂窝块用拉伸工装固定拉伸尺寸,再将蜂窝及拉伸工装一起放入高温定型烘箱,利用芳纶纸玻璃化转变温度,将烘箱温度设定在接近芳纶纸玻璃化转变温度区域,经过一定时间的高温作用,使芳纶纸内部结构从弹性态转变为玻璃态,使高温定型后蜂窝撤去拉伸工装后不再回缩或回缩率很低,从而达到蜂窝定型目的。影响蜂窝定型工艺的主要因素有定型温度、蜂窝受热均匀性、定型时长等。其中蜂窝受热均匀性主要与烘箱控温精度和穿过蜂窝各孔格的循环热风风速均匀性有关。

笔者根据大尺寸芳纶纸蜂窝特点制定了定型方案,探讨并确定了 ACCH 型芳纶纸蜂窝的最佳定型温度,着重分析了定型烘箱风机频率与风速的关系以及定型时间对芳纶纸蜂窝尺寸收缩率的影响。

1 试验部分

1.1 主要原材料

间位芳纶纸:YT822A,宽:914 mm,厚:0.05 mm,烟台民士达特种纸业股份有限公司;

芳纶纸蜂窝叠层板:ACCH-1/8,长×宽:1650 mm×914 mm,节点宽度:1.83 mm,层数:1600层,中航复合材料有限责任公司。

1.2 主要设备及仪器

小型试验烘箱:H888型,北京众磊有限公司;

大型定型烘箱:G746/X001型,北京众磊有限公司;

蜂窝拉伸机:DSXR-LS-900型,北京东晟新锐公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC204F1型,NETZSCH公司;

数字风速计:GM8902型,深圳聚茂源科技有限公司。

1.3 试验方法

(1) 芳纶纸蜂窝定型温度的选定试验。

利用 DSC 仪测定 YT822A 间位芳纶纸的玻璃化转变温度 T_g ,测试条件为动态氮气气氛,氮气流量为 30~70 mL/min,铝坩埚加带孔盖。依据测定的芳纶纸玻璃化转变温度值,再利用小型试验烘箱,取少量芳纶纸样品放入烘箱内,将温度设定在 $T_g \pm 10^\circ\text{C}$ 范围内,保温 90 min 观察芳纶纸受热变化情况,以芳纶纸受热后表面无明显变化且试验温度接近芳纶纸 T_g 值的温度点选定为芳纶纸蜂窝定型温度。

(2) 定型烘箱风机频率与风速的关系试验。

蜂窝定型加热效率与烘箱内循环热风的风速有直接关系,而风速大小与循环风机频率成正比。设置不同风机频率,利用数字式风速计测量穿过蜂窝孔格后的风速大小。在蜂窝下端面同时测量 9 个点位,风速计测量布点如图 1 所示。并分析不同频率下风速均匀性,从而选择最佳风机频率加热定型蜂窝。

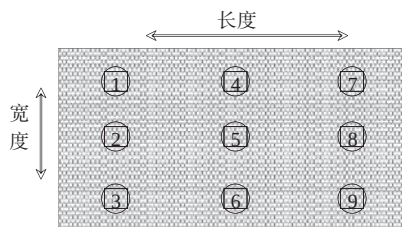


图1 风速测量点位分布

(3) 定型时间对芳纶纸蜂窝尺寸收缩率的影响。

在定型前测量蜂窝块长度,均匀取3点测量并取平均值,然后分别选取15,30,45,60,90 min 作为定型保温时间,并依次测量定型后放置12,24,48,72 h 蜂窝块长度,测量位置与方法与定型前相同,将该长度值与定型前蜂窝块长度值相比较便得出定型后蜂窝尺寸收缩率。

2 结果与讨论

2.1 大尺寸芳纶纸蜂窝定型方案

首先将蜂窝叠层板 ACCH-1/8 (芳纶纸为 YT822A,蜂窝边长 1.83 mm) 利用蜂窝拉伸机拉伸为待定型蜂窝块,拉伸后外形尺寸(长×宽×高)为 2600 mm×1250 mm×914 mm,然后用工装固定。沿蜂窝孔径方向,高度达到 914 mm,为使蜂窝块定型时循环热风更易穿过蜂窝孔格,保持蜂窝块水平方向定型后的平整度,以及防止蜂窝孔格侧压变形等问题,采用蜂窝块水平放置方式定型,将待定型的蜂窝块及拉伸工装水平放置在定型工装架上,然后推入烘箱箱体内,使烘箱内的加热循环热风自上而下穿过蜂窝孔实现加热定型,大尺寸蜂窝块定型放置示意图如图 2 所示。

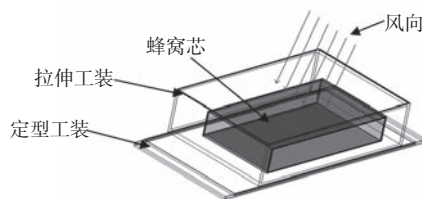


图2 大尺寸芳纶纸蜂窝定型示意图

2.2 大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型温度的确定

定型温度选定主要参考芳纶纸玻璃化转变温度。图 3 为 YT822A 芳纶纸 DSC 曲线,从 DSC 图

可看出, YT822A 芳纶纸在 275℃有玻璃化转变,因此 ACCH 型蜂窝定型温度应在 275℃左右进行设定。但考虑到 YT822A 芳纶纸玻璃化转变温度较高,为了兼顾蜂窝定型时避免发生高温炭化及燃烧,需要对定型温度进行小样安全评测。

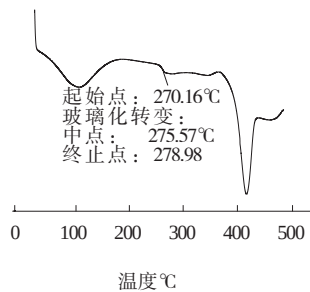
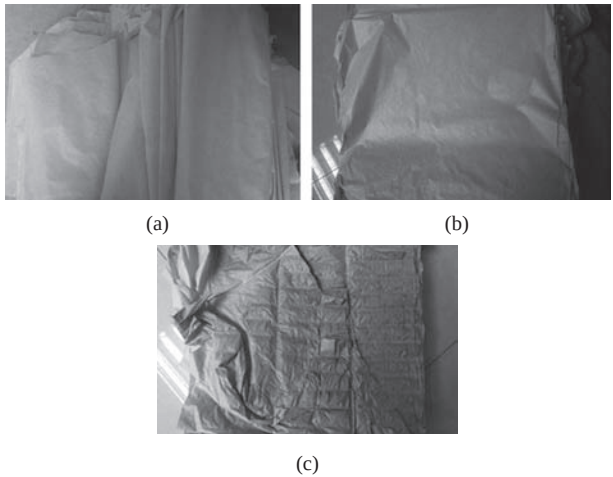


图3 YT822A 芳纶纸 DSC 曲线

将 YT822A 芳纶纸裁切小样放入小型试验烘箱内,分别设定在 265,275,285℃保温 90 min 查看其表面状态,结果见图 4。从图 4 可看出,当保温 90 min 后,1[#] 样品纸张表面无变化,2[#] 样品纸张表面稍有泛黄,3[#] 样品纸张表面呈暗褐色,说明已出现高温炭化现象。因此,定型温度应选择玻璃化转变温度及 275℃以下,以保证定型时避免高温炭化燃烧而发生危险,在此选用 265℃作为定型温度。



a—1[#] 样品 / 265℃; b—2[#] 样品 / 275℃; c—3[#] 样品 / 285℃

图4 芳纶纸蜂窝定型温度选定试验

2.3 大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型烘箱风机频率的确定

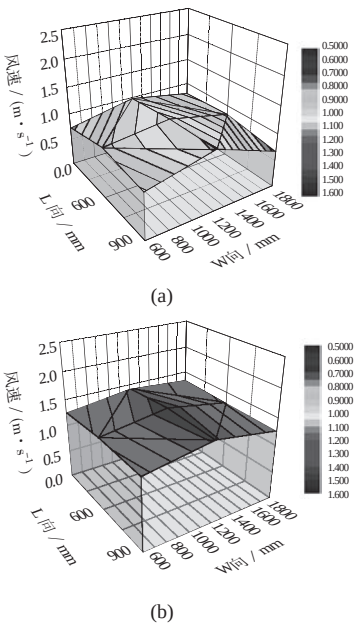
将定型烘箱风机频率分别设定为 35,40,45,50 Hz,测定的风速结果见表 1。从表 1 可看出,随着风机频率的增大,穿过蜂窝孔内的循环热风风速也不断增大;风机频率设置较低时,循环热风风速离散系数(C_v)偏大,风速均匀性较差,从表 1 也可看出,

表 1 蜂窝风速测量结果

风机频率 /	风速 / (m · s ⁻¹)									$\bar{X}$	C_v / %
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
50	1.48	1.49	1.46	1.63	1.69	1.62	1.5	1.38	1.33	1.51	7.84
45	1.25	1.31	1.28	1.41	1.49	1.46	1.32	1.29	1.26	1.34	6.65
40	1.08	1.22	0.99	1.23	1.34	1.31	1.25	1.26	1.18	1.21	9.15
35	0.72	0.93	0.84	0.98	1.08	1.11	0.78	0.83	0.67	0.88	17.43

风机频率在 45 ~ 50 Hz 时风速均匀性较好。

图 5 分别为风机频率为 35,45 Hz 时穿过蜂窝孔内的循环热风风速立体分布图。从图 5 可看出,当频率为 35 Hz 时,风速普遍低于 1.0 m/s,经过蜂窝块周边孔格的热风受边缘效应的影响,风速较低且偏差大;当频率为 45 Hz 时,循环风速普遍高于 1.25 m/s 以上,且均匀性较好;从图中也可看出,蜂窝块中部区域风速要高于其他区域。当穿过蜂窝孔内的循环热风风速较大时,蜂窝孔内升温及达到恒温定型状态时间较短,反之,循环热风风速较小时,蜂窝孔内升温用时较长,到达恒温定型的时间也相应较长。均匀的循环热风风速能保障蜂窝各孔格受热时间及定型收缩率一致,当蜂窝整体定型恒温用时一致时,蜂窝定型效果及效率最佳,因此在定型工艺中应尽量使通过蜂窝孔内的循环热风的风速大且均匀。



风机频率: a—35 Hz; b—45 Hz

图5 蜂窝定型风速均匀性立体分布图

2.4 大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型保温时间的确定

当定型温度选定后,定型保温时间会直接影响定型效果,长度尺寸收缩率是蜂窝定型效果的重要评判手段,收缩率越低说明定型效果越好。表2考察了在265℃定型条件下,选用不同保温时长、保温时间对定型后蜂窝块尺寸收缩率的影响。

表2 定型保温时间对 ACCH 型蜂窝尺寸收缩率的影响

样品 编号	定型温 度/℃	保温时 间/min	蜂窝块长度尺寸收缩率/%			
			12 h	24 h	48 h	72 h
1 [#]	265	15	1.8	2.7	3.3	4.1
2 [#]	265	30	1.2	1.6	2.2	2.7
3 [#]	265	45	0.5	0.7	0.7	1.0
4 [#]	265	60	0.4	0.5	0.7	0.8
5 [#]	265	90	0.3	0.3	0.5	0.6

从表2可看出,定型保温时间较短时,ACCH型蜂窝块长度尺寸收缩率明显偏高,不能满足工艺要求,当保温时间为45 min及更长时间时,蜂窝定型72 h后长度尺寸收缩率均低于2.5%,结合蜂窝定型效率,定型保温时长设定在45 min即可满足ACCH型蜂窝定型工艺要求。

3 结论

(1) 芳纶纸蜂窝定型温度选择时应将芳纶纸玻璃化转变温度与安全定型温度结合考虑,蜂窝定型时烘箱内的热循环风速均匀性越高越有利于蜂窝定型的一致性。

(2) 通过工艺试验研究,确定了大尺寸 ACCH 型芳纶纸蜂窝定型工艺参数:定型温度在265℃,烘箱风速保持在1.3~1.5 m/s,定型保温45 min。蜂窝定型72 h后长度尺寸收缩率均低于2.5%,满足ACCH型蜂窝定型工艺要求。

参考文献

- [1] 赵渠森. 先进复合材料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
Zhao Qusen. Advanced composite materials handbook[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003.
- [2] 李勇. Nomex 蜂窝在俄罗斯航空领域的发展及应用[J]. 材料工程, 1995(6):3-5.
Li Yong. The development and application of nomex honeycomb in russian aerospace area[J]. Journal Materials Engineering, 1995(6):3-5.
- [3] Simone A E, Gibson L J. Efficient structural components using porous metals[J]. Materials Science and Engineering, 1997, 229:55-62.
- [4] Torquato S, Gibiansky L V, Silva M J. Effective mechanical and transport pmperties of cellular solids[J]. International Journal Mechanical Sciences, 1998, 40(1):71-82.
- [5] 张广平, 戴干策. 复合材料蜂窝夹芯板及其应用[J]. 纤维复合材料, 2000, 25(2):25-27.
- [6] 王兴业, 杨孚标, 曾竞成, 等. 夹层结构复合材料设计原理及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007:4-8.
Wang Xingye, Yang Fubiao, Zeng Jingcheng, et al. Design principle and application of sandwich composite materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007:4-8.
- [7] 黄钧铭, 孙茂健, 朱敏英, 等. 蜂窝结构材料用国产芳纶纸性能分析[J]. 高科技纤维与应用, 2008, 33(6):33-38.
Huang Junming, Sun Maojian, Zhu Minying, et al. Performance analysis of the domestic meta-aramid paper(PMIA)used for honeycomb structure material[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2008, 33(6):33-38.
- [8] 刘文品, 杨进军, 马建忠. YT822A 型芳纶纸蜂窝性能研究[J]. 高科技纤维与应用, 2015, 40(1):58-61.
Liu Wenpin, Yang Jinjun, Ma Jianzhong. Study on the properties of YT822A aramid paper honeycomb[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2015, 40(1):58-61.
- [9] 马科峰, 刘杰, 王萌, 等. 三种间位芳纶纸蜂窝力学性能及断口形貌分析[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(2):32-36.
Ma Kefeng, Liu Jie, Wang Meng, et al. Mechanical properties and fracture morphology analysis of three kinds of meta-aramid paper honeycomb[J]. Engineering plastics application, 2017, 45(2):32-36.
- [10] 郝巍, 罗玉清. 国产间位芳纶纸蜂窝性能的研究[J]. 高科技纤维与应用, 2009, 34(6):26-30.
Hao wei, Luo Yuqing. Study on the properties of China's meta-aramid paper honeycomb[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2009, 34(6):26-30.
- [11] 王厚林, 王宜, 姚运振, 等. 芳纶纸结构性能及其对蜂窝力学性能的影响[J]. 功能材料, 2013, 44(15):2184-2187.
Wang Houlin, Wang Yi, Yao Yunzhen, et al. Aramid paper's structure and performance and their effect on the mechanical properties of aramid paper honeycomb[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(15):2184-2187.
- [12] 杨进军, 刘文品, 马建忠. 蜂窝浸胶-烘干-固化质量模型研究[J]. 航空制造技术, 2015(7):91-98.
Yang Jinjun, Liu Wenpin, Ma Jianzhong. Study on mass model of honeycomb's dipping-drying-curing[J]. Aeromautical Manufacturing Technology, 2015(7):91-98.
- [13] 罗玉清, 郝巍. 影响 Nomex 蜂窝节点强度因素的研究[J]. 高科技纤维与应用, 2009, 34(3):27-30.
Luo Yuqing, Hao Wei. Satudy on the factors of node peel strength of Nomex honeycomb[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2009, 34(3):27-30.
- [14] 杨进军, 马建忠, 刘文品. 大尺寸 ACCH 芳纶纸蜂窝浸胶工艺研究[J]. 航空制造技术, 2015(S1):68-75.
Yang JinJun, Ma JianZhong, Liu Wenpin. Study on dipping process of large size ACCH aramid paper honeycomb[J]. Aeromautical Manufacturing Technology, 2015(S1):68-75.