

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.10.013

玻纤增强聚丙烯管材缠绕成型温度工艺参数研究

郭兵兵¹, 周春华², 陈杰¹, 周晓东¹

(1. 化学工程联合国家重点实验室, 华东理工大学, 上海 200237; 2. 湖南省江华县自来水公司, 湖南永州 425500)

摘要: 通过熔融浸渍法制作了聚丙烯(PP)预浸料坯带。采用正交试验,研究了玻纤增强PP复合管材缠绕成型过程中几个主要加工温度参数对其性能的影响。结果表明,通道加热温度、热风枪加热温度、芯模温度对复合管材的层间剪切强度(F_{sbs})和环向拉伸强度($\sigma_{\text{环}}$)有显著影响。其中,热风枪温度对 F_{sbs} 影响较大,而芯模温度对 $\sigma_{\text{环}}$ 影响较大。在预热通道温度200℃,热风枪温度260℃,芯模温度140℃的最优工艺条件下,管材的 F_{sbs} 达到43.69 MPa, $\sigma_{\text{环}}$ 达到了589 MPa。

关键词: 缠绕成型; 玻纤增强聚丙烯; 层间剪切强度; 环向拉伸强度

中图分类号: TQ320.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)10-0056-04

Study on Temperature Parameters of Filament Winding of Glass Fiber Reinforced Polypropylene Pipes

Guo Bingbing¹, Zhou Chunhua², Chen Jie¹, Zhou Xiaodong¹

(1. State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Jianghua Water Supply Company, Yongzhou 425500, China)

Abstract: Polypropylene(PP) prepreg tape was produced by using melt impregnation method. Effects of several processing temperatures on properties of filament winding of glass fiber reinforced polypropylene pipe were studied by orthogonal experiments. The results show that temperatures of heated chamber, hot air gun and mandrel have significant impact on interlaminar shear strength (F_{sbs}) and hoop tensile strength (σ_{ring}) of PP composite pipe. Among them, hot air gun temperature has greater impact on F_{sbs} , meanwhile, mandrel temperature has greater influence on σ_{ring} . Based on optimal process parameters of preheat channel temperature 200℃, hot air gun temperature 260℃, mandrel temperature 140℃, F_{sbs} and σ_{ring} are 43.69 MPa and 589 MPa respectively.

Keywords: filament winding; glass fiber reinforced polypropylene; interlaminar shear strength; hoop tensile strength

与热固性复合材料相比,热塑性复合材料由于高的损伤容限、成型效率高、可回收再利用等优势而得到了广泛应用。通过向热塑性树脂中嵌入连续纤维,可以提高复合材料强度、弹性模量,以及最高使用温度,进一步满足了对材料有着高性能要求的工业领域和航空领域^[1-3]。目前,热塑性复合材料缠绕成型工艺的主要难点在于对热塑性预浸带进行加热^[4],在预浸带缠绕到芯模上时达到熔融状态,然后在压力辊的作用下,固结成型。

笔者对现有缠绕设备改进后重新进行试验^[5],针对玻纤增强聚丙烯(PP)缠绕成型中的温度参数进行了系统研究,改变了通道的加热方向,增加了预浸带导向辊和缠绕张力控制装置,改变热风枪的热风方向,获得了最优成型条件,产品性能显著提高。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: Y1600, 中国石化上海石油化工股份有限

公司;

接枝马来酸酐改性聚丙烯(PP-g-MAH): 自制;

玻璃纤维: 362C, 巨石集团有限公司;

玻璃纤维增强PP预浸带: 自制;

各种助剂: 工业品。

1.2 主要设备与仪器

玻纤缠绕成型设备: 自制。

1.3 试验设计及样品制备

研究了加工过程中预热通道温度(A)、热风枪加热温度(B)、芯模温度(C)对制品性能的影响。采用正交试验方法来研究三个因素的影响,相对于每次只研究一个因素来说,效率更高。将层间剪切强度(F_{sbs})、环向拉伸强度($\sigma_{\text{环}}$)作为评价指标,最终获

联系人: 周晓东, 教授, 主要从事聚合物基复合材料成型技术研究以及聚合物材料的界面和嵌段共聚物的组装行为及相关功能材料研究

收稿日期: 2013-08-02

得缠绕系统的最优工艺参数。正交试验见表 1。

表 1 正交试验表

因素	A	B	C
水平 1	200	200	120
水平 2	210	230	140
水平 3	220	260	160

1.4 测试方法

(1) F_{sbs} 测试。

根据 ASTM D 2344-2000 标准来制备测试样品,样品厚度为 h ,宽度 b 为 $2h$,样品长度 l 为 $6h$,测试跨距为 $4h$,并依据标准规定的加载速度 1 mm/min 进行测试。

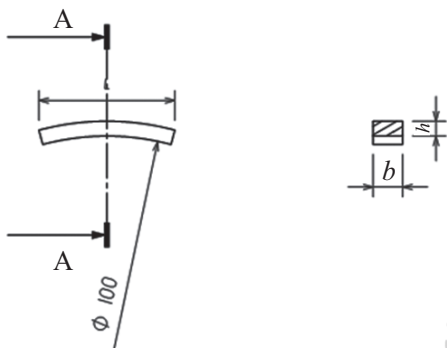


图 1 F_{sbs} 样品示意图

管材层间剪切强度按式 (1) 计算:

$$F_{\text{sbs}} = 0.75 \times P_m / (b \times h) \quad (1)$$

式中: F_{sbs} ——层间剪切强度, MPa;

P_m ——最大力, N;

b ——样品宽度, mm;

h ——样品厚度, mm。

(2) $\sigma_{\text{环}}$ 测试。

根据 ASTM D 2290-2004 标准来制备测试样品,并依据标准规定的加载速度 12.7 mm/min 进行环向拉伸测试。测试样品示意图如图 2 所示。

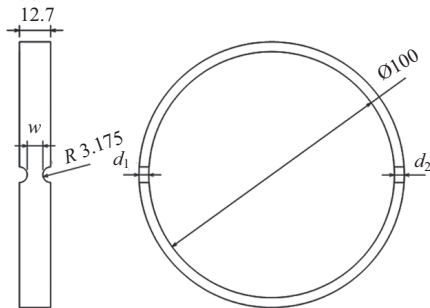


图 2 $\sigma_{\text{环}}$ 样品示意图

管材 $\sigma_{\text{环}}$ 按式 (2) 计算:

$$\sigma_{\text{环}} = F_{\text{max}} / (A_1 + A_2) = F_{\text{max}} / [(w_1 \times d_1) + (w_2 \times d_2)] \quad (2)$$

式中: $\sigma_{\text{环}}$ ——管材环向拉伸强度, MPa;

F_{max} ——最大拉伸力, N;

w_1, w_2 ——环形试样开口处的残留宽度, mm;

d_1, d_2 ——环形试样开口处的厚度, mm。

2 结果与讨论

考查预热通道、热风枪、芯模的温度对成型管材制品的 F_{sbs} 和 $\sigma_{\text{环}}$ 的影响,并获取最优成型工艺条件。

缠绕机控制参数:缠绕速度 3 140 mm/min,缠绕层数为 8 层,预浸带张力 5 N。管材参数:缠绕角度 87.5°,管材内径 100 mm。

2.1 设备改进

(1) 将加热方式由下方远红外加热改为上方加热,避免预浸带下方过热而出现粘辊的现象,改进后,预浸带与下方支撑辊接触良好,未出现粘辊现象。

(2) 预浸带输出端增加一个导向辊,有利于熔融预浸带的铺展,可精确铺放。此外,导向辊采用铜材质,避免了预浸带对导向辊的过度粘附。

(3) 将热风枪的热空气加热方向调整到预浸带和芯模之间的夹点位置,有利于对两个表面加热,提高了加热效率。

2.2 复合管材壁厚

预浸带缠绕过程中,由于张力的作用,纤维嵌入到树脂层中,富集的树脂逐渐被挤出到复合管材表面,如果直接冷却降温,会造成管材的表面凹凸不平。一方面,外观差;另外,会对管材的壁厚测量造成大的误差。因此,在制备结束后,采用压力辊统一对管材表面进行压平处理。

对管材壁厚进行测量,测量方式和结果如下:

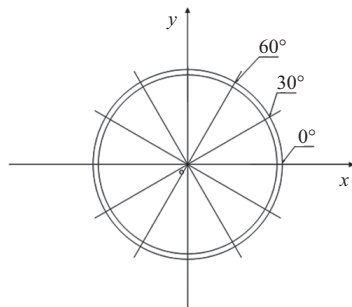


图 3 壁厚随环向的变化

由 X 轴正向开始,沿逆时针方向,每隔 30° 测量管材壁厚,测量结果如表 2 所示。

表 2 壁厚随管材环向的变化

角度/(°)	30	60	90	120	150
壁厚/mm	2.82	2.82	2.88	2.86	2.82
角度/(°)	180	210	240	270	300
壁厚/mm	2.78	2.80	2.80	2.80	2.84

从试验结果计算,壁厚标准偏差仅为 0.030 6,壁厚的变化较小,而且外观也比较平整。

2.3 正交试验结果

按照正交试验表进行试验,并制备 F_{sbs} 和 $\sigma_{\text{环}}$ 测试试样,每个试验分别取 5 个样品进行测试,并将测试结果列于表 3 中,试验结果采用直观分析法进行分析^[6-7]。

表 3 试验结果与分析

因素	A	B	C	F_{sbs}	$\sigma_{\text{环}}$
试验 1	200(1)	200(1)	120(1)	21.59	368.84
试验 2	200	230(2)	140(2)	27.62	415.46
试验 3	200	260(3)	160(3)	37.56	560.00
试验 4	210(2)	200	140	38.54	382.67
试验 5	210	230	160	30.07	409.22
试验 6	210	260	120	25.72	360.51
试验 7	220(3)	200	160	22.08	348.59
试验 8	220	230	120	19.76	388.40
试验 9	220	260	140	32.61	489.38
F_{sbs}	T_1	86.77	82.21	67.07	
	T_2	94.33	77.45	98.77	
	T_3	74.45	95.89	89.71	
	m_1	28.92	27.40	22.36	
	m_2	31.44	25.82	32.92	
	m_3	24.82	31.96	29.90	
	R	6.63	6.15	10.57	
$\sigma_{\text{环}}$	T_1	1344.30	1100.10	1117.75	
	T_2	1152.40	1213.08	1287.51	
	T_3	1226.37	1409.89	1317.81	
	m_1	448.10	366.70	372.58	
	m_2	384.13	404.36	429.17	
	m_3	408.79	469.96	439.27	
	R	63.97	103.26	66.69	

注: T 为每个水平下的试验结果之和; m 为每个水平下的试验结果的平均值; R 为每个水平下试验结果均值的极差。

2.4 平均 F_{sbs} 点图

图 4 为平均 F_{sbs} 点图。

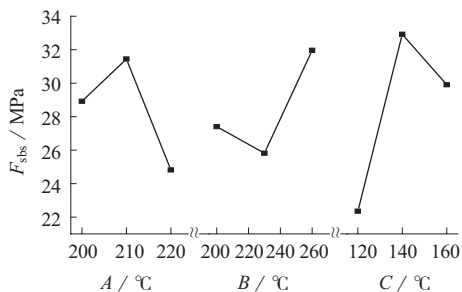


图 4 平均层间剪切强度点图

由图 4 可知: (1) 预热通道温度以 210℃ 时 F_{sbs} 最高; (2) 热风枪温度以 260℃ 时 F_{sbs} 最高, 230℃ 时 F_{sbs} 有所下降; (3) 芯模温度以 140℃ 时 F_{sbs} 最高。

试验结果表明, 以预热通道温度 210℃, 热风枪 260℃, 芯模 140℃ 时, F_{sbs} 结果最优。缠绕成型过程

中, 不同的温度因素对结果的影响是有主次分别的, 从点图上可知, 点子分散范围大的因素为主要因素, 散布范围小的为次要因素。芯模温度是影响 F_{sbs} 的主要因素。

2.5 平均 $\sigma_{\text{环}}$ 点图

图 5 为平均 $\sigma_{\text{环}}$ 点图。

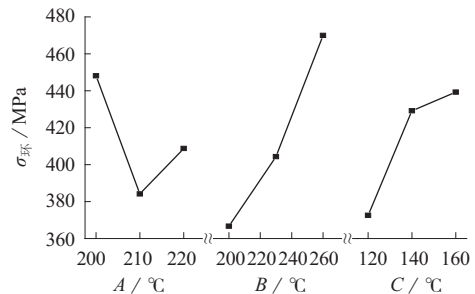


图 5 平均 $\sigma_{\text{环}}$ 点图

由图 5 可知: (1) 预热通道温度 200℃ 时, $\sigma_{\text{环}}$ 最大; (2) 热风枪温度 260℃ 时, $\sigma_{\text{环}}$ 最大, 并处于上升趋势; (3) 芯模温度 160℃ 时, $\sigma_{\text{环}}$ 最大, 也处于上升趋势。

综上所述, 当预热通道温度为 200℃, 热风枪温度为 260℃, 芯模温度为 160℃ 时 $\sigma_{\text{环}}$ 最优。

从以上两个指标来看, 预热温度太高, 对结果有不利影响。原因是, 预热通道温度过高, 会导致预浸带上的树脂在通道内完全熔化, 当预浸带接触到烘道壁面或经过转角时, 上面的树脂会被刮下来, 而且树脂完全熔化后, 纤维直接与通道壁面相摩擦, 会导致纤维的磨损。

通过对正交试验点图的分析, 推断出最佳水平组合为预热通道温度 200℃, 热风枪温度 260℃, 芯模温度 140℃, 但并不存在于正交试验表里。因此进行追加试验。在预热通道温度 200℃, 热风枪温度 260℃, 芯模温度 140℃ 条件下重复试验。得到的试验结果为: F_{sbs} 为 43.69 MPa, $\sigma_{\text{环}}$ 为 589 MPa。

3 结论

(1) 预热通道的温度对制品的 F_{sbs} 和 $\sigma_{\text{环}}$ 的影响并不显著, 从节能的角度考虑, 将预热通道温度选择为 200℃; 热风枪温度对 $\sigma_{\text{环}}$ 有直接的影响, 热风枪的热空气温度越高, 会提高预浸带和已经缠绕在芯模上的预浸带之间的夹点温度, 促进熔融的树脂彼此之间熔接。

(2) 芯模的温度对 F_{sbs} 的影响较为显著, 9 次试验中以第 4 次试验结果最好, F_{sbs} 为 38.54 MPa, 相对应的水平组合 (预热通道温度 210℃, 热风枪

200℃,芯模温度 140℃)是其最好的搭配。芯模的温度较低时,缠绕到芯模上的预浸带由于与芯模发生热交换,部分热量传递到芯模上,已经缠绕的材料温度下降,树脂黏度变大,后续的熔融预浸带与之发生接触后,不能很好地粘结到一起。

(3) 热风枪温度对管材 $\sigma_{\text{环}}$ 的影响较大,9 次试验中以第 3 次试验结果最好, F_{sbs} 为 560 MPa, 相对应的水平组合(预热温度 200℃,热风枪 260℃,芯模温度 160℃)是其最好的搭配。

(4) 从加工角度来考虑,优选温度工艺参数组合为预热通道温度 200℃,热风枪温度 260℃,芯模温度 140℃,制得复合管材的 F_{sbs} 为 43.69 MPa, $\sigma_{\text{环}}$ 为 589 MPa,性能最佳。

参考文献

- [1] Martins L A L, Bastian F L, Netto T A. The effect of stress ratio on the fracture morphology of filament wound composite tubes[J]. Materials & Design. 2013, 49(0):471-484.
- [2] 李伟,高维佳,陈平,等.连续纤维增强 PEK-C 复合材料缠绕成型工艺及性能研究[J]. 固体火箭技术. 2011, 34(2):261-264.
Li Wei, Gao Weijia, Chen Ping, et al. Study on winding process and properties of continuous fiber reinforced PEK-C composites[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2011, 34(2): 261-264.
- [3] 咸贵军,益小苏,潘颐.热塑性树脂熔融浸渍连续纤维装置[J]. 塑料工业. 2000, 28(5):15-17.
Xian Guijun, Yi Xiaosu, Pan Yi. Device for impregnation of continuous fiber roving with thermoplastics melt[J]. China Plastics Industry, 2000, 28(5): 15-17.
- [4] Gennaro R, Montagna F, Maffezzoli A, et al. On-line consolidation of commingled polypropylene / glass roving during filament winding[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2011, 24(6):789-804.
- [5] 李旭武,周晓东,郭兵兵,等.工艺条件对两步法缠绕成型连续玻璃纤维增强聚丙烯管材层间剪切强度及树脂含量的影响[J]. 玻璃钢/复合材料. 2011(6):64-67.
Li Xuwu, Zhou Xiaodong, Guo Bingbing, et al. Influence of processing parameters of two-step filament winding on ILSS and resin content of continuous glass fiber reinforced polypropylene tubes[J]. Fiber Reinforced Plastic / Composites, 2011(6): 64-67.
- [6] 任露泉. 试验设计及其优化[M]. 北京:科学出版社, 2009:71-78.
Ren Luquan. Experimental design and optimization [M]. Beijing: Sciences Press, 2009: 71-78.
- [7] 方开泰,马长兴. 正交与均匀试验设计[M]. 北京:科学出版社, 2011:40-45.
Fang Kaitai, Ma Changxing. Experimental design and optimization [M]. Beijing: Sciences Press, 2011: 40-45.

欢迎订阅 2014 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明

订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2014 年定价 15 元/期,全年 180 元。目前杂志社尚有部分 1986 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2014 年定价 15 元/期,全年 90 元。目前杂志社尚有部分 1992 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2012 年底共 40 卷 278 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2012 年底

共 21 卷 89 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款单位:山东济南市天桥区田庄东路 3 号杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户名:中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>