

丙纶基纤维增强复合材料的成型工艺探讨

刘双双^a, 田 伟^b, 胡丹峰^a, 王洁瑜^a, 祝成炎^b

(浙江理工大学, a. 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室;

b. 现代纺织加工技术国家工程技术研究中心, 杭州 310018)

摘 要:以玄武岩纤维、玻璃纤维为增强纤维,丙纶为基体纤维,利用包缠技术制得复合线,织造平纹组织预制件,采用直接热压成型工艺制备丙纶基纤维增强机织复合材料,并对复合材料的成型工艺进行了优化设计。研究表明:在合理且统一的热压工艺参数条件下,采用多层预制件复合,且在加工模具中添加与预制件厚度相适应的垫片,可以得到成型效果良好的丙纶基纤维增强机织复合材料,达到成型优化的目的,同时满足了复合材料在厚度上的要求。

关键词:玄武岩纤维;玻璃纤维;丙纶;复合材料;成型工艺;垫片;多层复合

中图分类号: TB332

文献标志码: A

0 引 言

热塑性纤维增强复合材料具有韧性高、机械性能优良、耐储存、成本低廉、加工工艺简单、可回收再利用等传统复合材料不可比拟的优点,已成为复合材料领域一个重要的研究和发展方向。聚丙烯纤维,简称丙纶,具有熔点低、耐化学腐蚀、热变形温度高等特点,是热塑性复合材料的常用基体材料。国内外学者研究了不同的复合材料成型方式,将基体纤维与碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维^[1]等增强纤维复合制备复合材料,取得了一定的进展^[2-3]。邱菊生等^[4],张荫楠等^[5]采用非织造工艺制备预制件,再利用直接热压成型工艺制得复合材料;一些学者采用针织物作为预制件,直接模压成型,并研究了基体丙纶的浸渍机理以及复合材料的力学性能^[6-7];还有学者通过制备混纤纱的方式将基体纤维与增强纤维复合再热压成型^[8-10]。然而,对于热塑性纤维为基本的

连续纤维增强机织复合材料的成型工艺,研究进展相对滞后,成效不很显著,不利于热塑性纤维增强复合材料的进一步发展。因此,本文以玄武岩纤维、玻璃纤维作为增强纤维,丙纶作为基体纤维,采用包缠技术制备复合线,织造机织预制件,直接热压成型制备复合材料,研究其成型工艺原理及过程,分析成型缺陷产生的原因,从而对成型工艺进行多方面优化,以期得到成型效果良好的丙纶基连续纤维增强机织复合材料,为热塑性复合材料的进一步发展奠定基础。

1 实 验

1.1 实验原料与仪器

实验原料:玻璃纤维(杭州泰克斯复合材料有限公司),玄武岩纤维(浙江石金玄武岩纤维有限公司),丙纶纤维(绍兴超特合纤有限公司)。原料规格和性能如表1所示。

收稿日期: 2014-06-27

基金项目: 国家科技部国家国际科技合作专项项目(2011DFB51570);浙江理工大学研究生科研创新项目(11110032661206);“纺织科学与工程”浙江省重中之重一级学科优秀研究生学位论文培育基金项目(11110031211202/005/093)

作者简介: 刘双双(1990-),女,吉林松原人,硕士研究生,研究方向为纤维增强复合材料成型工艺研究。

通信作者: 祝成炎, E-mail: cyzhu@zstu.edu.cn

表 1 实验原料规格和性能

原料	细度/ tex	密度/ (g·cm ⁻³)	熔点/ ℃	断裂强度/ (cN·dtex ⁻¹)	断裂伸长 率/%
玄武岩 纤维	594	3.00	1450	3.42	15.00
玻璃 纤维	640	2.54	680	3.27	16.33
丙纶	100	0.91	166	2.87	46.17

实验仪器:HKV151B型花式捻线机(浙江精工科技股份有限公司);ASL2000-20-E自动织样机(天津市隆达机电科技发展有限公司);XLB25-D型平板硫化机(浙江双力集团湖州星力橡胶机械制造有限公司)

表 2 包缠线纱线组合及体积比例

序号	芯纱组合	外包纱线	复合线细度/tex	体积比例
1	594 tex 玄武岩+100 tex 丙纶	100 tex 丙纶	816	$V(\text{玄武岩}):V(\text{丙纶})=45:55$
2	640 tex 玻纤+100 tex 丙纶	100 tex 丙纶	865	$V(\text{玻纤}):V(\text{丙纶})=50:50$

1.2.2 预制件的织造

采用自动织样机以所制包缠复合线为经纬纱线,织造经密100根/10 cm,纬密60根/10 cm的平纹组织预制件。

1.2.3 复合材料的成型工艺

采用直接热压成型方式制备丙纶基纤维增强复合材料。本文所用丙纶的熔点在166℃左右,参考已有的研究成果中热塑性复合材料的成型工艺参数^[6-7,11-12],设计多种实验方案,进行成型实验,通过对比复合材料的表面形态及截面结构,确定以下热压工艺参数:模压温度220℃,模压压力5 MPa,模压时间45 min。将预制件置于加工模具中,温度由室温升至220℃,升温过程中施加2 MPa的预加压力,温度到达设定值后,施加模压压力5 MPa,经过45 min恒温保压,然后加循环水冷却至室温取出,即可得到丙纶基纤维增强复合材料。其热压工艺流程如图1所示。

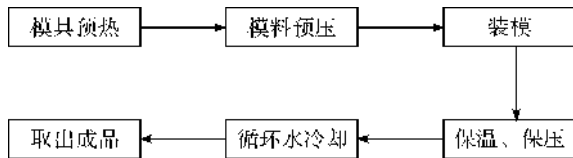


图 1 复合材料成型工艺流程

1.2.4 复合材料成型工艺的优化

针对以上复合材料成型过程以及成型制品出现的质量缺陷,分析其产生的原因,提出复合材料成型工艺的优化方案,主要通过添加不同厚度的不锈钢垫片以及多层预制件复合两种方式。

1.2.4.1 添加不同厚度不锈钢垫片

本实验使用课题组自主设计的模具,形状为正

方形,由上模和下模组成,如图2、图3所示。其中,上模1的上半部分尺寸为260 mm×260 mm×10 mm,下半部分为200 mm×200 mm×15 mm,下模3为与上模下半部分匹配的202 mm×202 mm×15 mm的凹槽,上模的下半部分与下模的凹槽相匹配,尽量保证模具内部密封。下模3的尺寸为210 mm×210 mm×10 mm。将预制件剪成200 mm×200 mm的正方形,置于凹槽内,凹槽边缘放置与复合材料板材厚度相配的不锈钢垫片2。

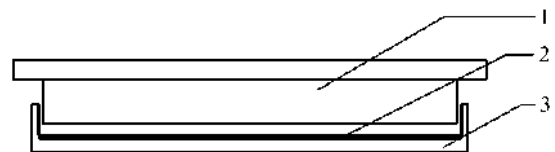
1.2 实验方法

1.2.1 包缠复合线的组合设计

将增强纤维与基体丙纶以一定的比例无捻并合,然后再利用丙纶包覆形成具有混杂效果的包缠复合线,一方面保证了预制件中具有较高比例的基体丙纶,热压过程中能够充分浸润增强纤维;另一方面克服了单一纤维的性能缺陷,发挥协同效应,提高了纱线在织造和后续加工中的可织性。复合线组合以及体积比如表2所示。

方形,由上模和下模组成,如图2、图3所示。其中,上模1的上半部分尺寸为260 mm×260 mm×10 mm,下半部分为200 mm×200 mm×15 mm,下模3为与上模下半部分匹配的202 mm×202 mm×15 mm的凹槽,上模的下半部分与下模的凹槽相匹配,尽量保证模具内部密封。下模3的尺寸为210 mm×210 mm×10 mm。将预制件剪成200 mm×200 mm的正方形,置于凹槽内,凹槽边缘放置与复合材料板材厚度相配的不锈钢垫片2。

不锈钢垫片的尺寸包括:180 mm×10 mm×1.01 mm;180 mm×10 mm×0.89 mm;180 mm×10 mm×0.47 mm 3种。



1. 上模, 2. 垫片, 3. 下模

图 2 模具侧视图

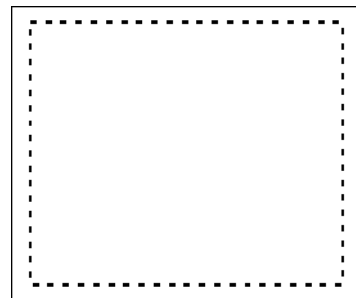


图 3 模具俯视图

1.2.4.2 多层预制件复合

针对添加垫片后所制复合材料的内部出现的成

型及质量缺陷,进一步对成型工艺进行优化。具体方案为:采用课题组设计的模具,将多层平纹预制件依次铺在模具的凹槽内,铺层角度均为 0° ,铺设层数设计为一层、二层、三层和四层,同时根据二层、三层预制件的厚度添加了适合的不锈钢垫片。将模具放入平板硫化机中,模压参数不变,直接热压成型。

2 结果与讨论

2.1 复合材料的成型工艺分析

图4所示模压温度 220°C 、模压压力5 MPa、模压时间45 min的成型工艺下所得单层平纹组织复合材料的外观形貌。

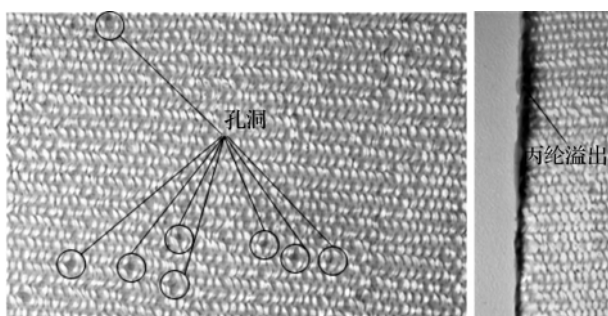


图4 复合材料的外观形貌

复合材料成型过程中,模压温度是最主要的参数,本文确定模压温度为 220°C ,是由于此温度高于丙纶熔点,能够保证丙纶熔融,且较高的温度可以充分降低基体的黏度,使熔体丙纶充分浸润增强纤维,提高浸润质量。升温过程中施加2 MPa的预加压力,可以防止丙纶基体熔融过程中的皱缩引起织物结构的变形,从而保证复合材料表面平整。当温度升高至设定值,对模具施加5 MPa的压力,目的是促进熔融的丙纶流动,从而包覆增强纤维,达到浸润效果,但随着基体丙纶的流动,压力就会逐渐下降,因此,成型过程中要不断补压到设定值。模压时间45 min则保证了丙纶熔融浸润增强纤维的过程充分进行,同时避免复合材料成型时间过长而导致边缘氧化而变脆。

从图4中可以看出,复合材料基本成型,但是制品表面出现孔洞,且复合材料边缘有丙纶溢出,表明成型效果不很理想。分析其原因可知,模压温度比较合适,使得丙纶熔融,浸润织物组织层间结构,但施加模压压力的条件下,基体丙纶熔融后不能充分流动,导致织物组织及纤维内部的空气不能及时排出,因而形成气泡,破裂后形成孔洞,从而影响成型质量。预制件边缘的丙纶也是在模压压力作用下溢出,使得复合材料内部丙纶含量变少,不能充分包覆

和浸润增强纤维,更加影响复合材料的成型质量。因此,需要对复合材料的成型工艺进一步优化,保证基体丙纶熔融后有足够的空间流动。

2.2 添加垫片后复合材料成型工艺优化分析

2.2.1 表面形貌观察与分析

复合材料成型一定要施加足够的模压压力,以保证制品表面平滑,成型良好,另一方面要保证丙纶熔融后有足够的空间流动,及时且充分地包覆增强纤维,从而改善成型质量,因此,本实验采取在加工模具中添加不锈钢垫片的方法实现上述目的。图5所示为同一成型工艺参数条件下,添加不同厚度的不锈钢垫片后所得单层平纹组织复合材料的外观形貌。

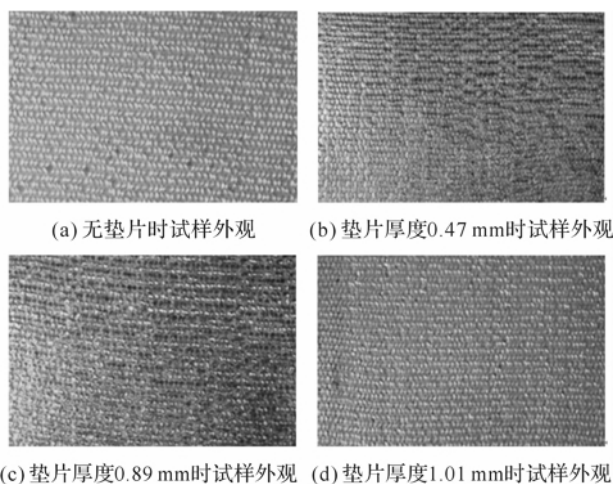


图5 不同垫片厚度所得复合材料的外观形貌

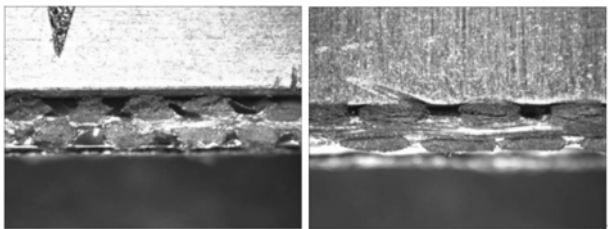
从图5中可以看出,添加垫片后,制品外观得到了很大程度上的改善,特别是图5(b)和图5(c),复合材料表面平整光滑,没有孔洞,图5(d)则有少许孔洞。成型过程中的丙纶溢边现象也得到了改善。分析其原因可知,添加垫片后,模具上下层之间留有一定的空间,丙纶基体熔融后能够迅速流动,浸润组织结构,接触并包覆增强纤维。同时,一定的模压压力能够进一步促进丙纶基体的流动,同时保证制品表面平滑。当垫片厚度与预制件厚度相适应,如图5(b),此时模压压力与层间缝隙的协同作用达到相对最优化,形成的复合材料表面成型最好。

2.2.2 截面结构观察与分析

图6所示添加不锈钢垫片前后所得单层平纹复合材料的横截面结构。

观察复合材料的横截面可以看出,未添加垫片时,复合材料的组织结构内部出现很多孔洞,这是由于内部气体未能及时排出形成的气泡所导致,大大影响了复合材料的成型质量。添加垫片后,如图6

(b),截面上孔洞大大减少,说明垫片起到了促进熔融丙纶流动的效果,增强纤维的横截面呈扁的椭圆形,且纤维束紧密排列,说明模压压力也起到了一定的作用。进一步验证添加与预制件厚度相适应的垫片能够改善复合材料的成型质量。从图6(b)中还可以看出,尽管孔洞减少,但仍然存在,说明即使垫片厚度适宜的情况下,制品内部仍然存在气泡,影响成型效果。因此,需要进一步优化复合材料的成型方案,以减少组织结构内部的气泡,改善制品内部的成型效果。



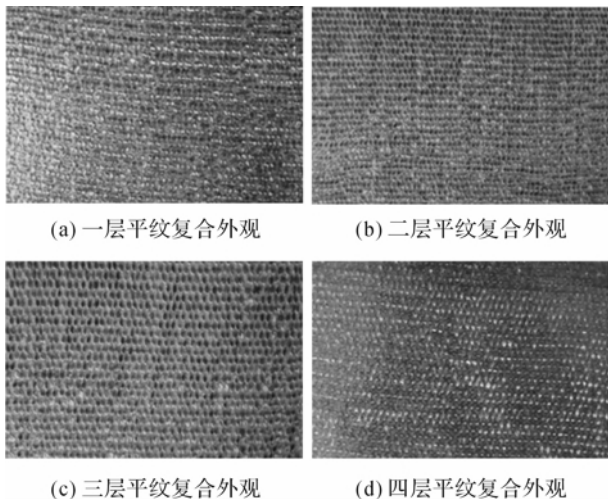
(a) 无垫片时试样截面 (b) 垫片厚度0.47 mm时试样截面

图6 添加垫片前后复合材料横截面结构

2.3 多层预制件复合成型工艺优化分析

2.3.1 外观形貌观察与分析

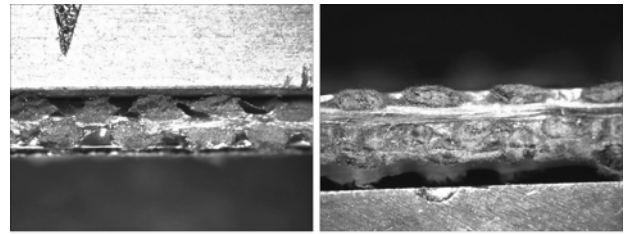
复合材料内部出现孔洞,一方面由于组织内部气体未能及时排出,另一方面可能由于织物组织内部丙纶含量不足,导致增强纤维不能完全地被包覆和浸润,从而影响成型效果。因此,本实验采取多层预制件进行复合,以增加复合材料内部丙纶的含量,同时,二层与三层预制件铺层时添加了与预制件厚度相适应的不锈钢垫片,以其进一步改善成型质量。图7所示为同一模压成型参数条件下,不同层数平纹预制件复合所得复合材料的外观形貌;图8所示为不同层数平纹预制件复合所得复合材料的截面结构。



(a) 一层平纹复合外观 (b) 二层平纹复合外观

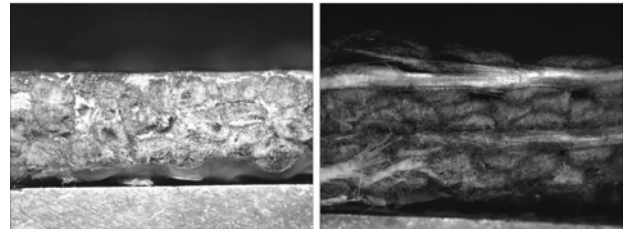
(c) 三层平纹复合外观 (d) 四层平纹复合外观

图7 不同层数预制件复合所得复合材料外观形貌



(a) 一层平纹复合截面

(b) 二层平纹复合截面



(c) 三层平纹复合截面

(d) 四层平纹复合截面

图8 不同层数预制件复合材料截面结构

观察成型外观可以看出,多层预制件复合后,制品外观更加平整光滑,没有出现孔洞。说明多层复合也可以改善复合材料的成型质量。截面结构观察可以看出,单层平纹模压时,由于丙纶含量较少,复合材料表面孔洞较多,内部孔隙和气泡较多,包覆效果较差。四层平纹复合时,成型效果大大改善,表面形成的致密表层,孔洞大大减少,复合材料内部孔隙和气泡也相应减少,但没有完全消除。分析其原因可知,四层平纹铺层模压,聚丙烯的含量相对增加很多,在高温高压作用下,各层聚丙烯熔融,浸润各层增强纤维,使得四层增强纤维形成一个整体,聚丙烯熔融流动的过程中,孔隙和气泡就逐渐被消除,因此,成型效果大大改善。但由于四层平纹复合,厚度较大,因此在模压压力作用下,部分聚丙烯溢出,从而影响了复合材料的成型,导致表面仍有少许孔洞和气泡。二层和三层平纹复合时,添加了不锈钢垫片,且与复合材料厚度相对适应,聚丙烯的含量相对适宜,熔融的聚丙烯能够包覆各层增强纤维,不至于过量,形成比较好的浸润效果,复合材料成型效果也相对最佳,截面基本无孔洞,内部也基本没有孔隙和气泡。因此,多层平纹复合所制复合材料的成型质量要远远好于单层平纹复合材料。

3 结论

本文以玄武岩纤维、玻璃纤维为增强纤维,以丙纶为基体纤维,利用包缠技术制得复合线,织造平纹组织预制件,采用直接热压成型工艺制备丙纶基连续纤维增强机织复合材料,并对复合材料的成型工艺进行了优化设计与研究,具体研究结果如下。

a) 在模压温度 220℃、模压压力 5 MPa、模压时间 45 min 的工艺条件下,复合材料可基本成型,但制品表面存在孔洞,且制品边缘有丙纶溢出,成型效果欠佳。

b) 在加工模具中添加不锈钢垫片能够改善复合材料的外观成型效果,减少表面孔洞,但是复合材料内部仍然存在孔隙和气泡,内部成型质量相对较差。

c) 采用多层平纹预制件复合,所得复合材料外观平整光滑,无孔洞,且制品截面的孔洞大大减少,内部孔隙和气泡也相应减少,成型质量进一步得到优化。

d) 当多层预制件进行复合,同时添加与其厚度相适应的垫片时,复合材料的表面和内部成型质量均达到最优。

综上所述,对于丙纶基纤维增强平纹组织复合材料,在合理且统一的热压工艺参数条件下,采用多层预制件复合,且在加工模具中添加与预制件厚度相适应的垫片,能够使基体丙纶充分且迅速地包覆增强纤维,浸润组织内部,有效地排出气泡,从而得到成型效果良好、成型质量优良的复合材料,同时也满足了复合材料在厚度上的要求,为拓宽其应用领域奠定了技术基础。

参考文献:

[1] 霍冀川,雷永林,王海滨,等.玄武岩纤维的制备及其复合材料的研究进展[J].材料导报,2006,20(5):382-385.

[2] 汪济奎,张麟峰,戴干策.玻璃纤维增强热塑性复合材料的加工技术[J].国内外新技术,1998(2):48-50.

[3] 陈同海,贾明印,杨彦峰,等.连续纤维增强热塑性复合材料制备与熔融浸渍机理研究[J].工程塑料应用,2013,41(7):52-56.

[4] 邱菊生,钟智丽,石磊,等.纤维组分比例对玄武岩/聚丙烯复合材料的力学性能影响研究[J].天津工业大学学报,2010,29(1):23-26.

[5] 张荫楠,王春红,马崇启.苧麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯树脂基复合材料的制备与力学性能分析[J].玻璃钢/复合材料,2012(1):63-67.

[6] 章亚东,段跃新,左璐,等.经编织物法制备连续增强热塑性复合材料的微观形貌和浸润过程分析[J].复合材料学报,2004,21(6):63-69.

[7] 黄蓉,龙海如.玻璃纤维丙纶混并纱纬编织复合材料拉伸性能的研究[J].东华大学学报:自然科学版,2006,32(2):79-82.

[8] 王荣荣,马崇启,黄故.丙纶/玻璃纤维包芯纱的研制[J].玻璃钢/复合材料,2007(3):41-44.

[9] 费传军,邓洪,赵东波,等.GF/PP混纺纱及其复合材料性能初探[J].玻璃纤维,2007(5):1-5.

[10] 叶飞,田伟,冯兆行,等.玻璃纤维/涤纶混杂热塑性机织复合材料的制备及其性能[J].纺织学报,2011,32(11):28-32.

[11] 田伟,祝成炎.玻璃纤维/丙纶混杂3D机织物及其复合材料的研制[J].产业用纺织品,2003,21(12):6-9.

[12] 刘晓辉,戴干策.麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯复合材料的性能研究[J].塑料工业,2007,35(6):35-38.

Discussion on Molding Process of Polypropylene Based Fiber Reinforced Composite

LIU Shuang-shuang, TIAN Wei, HU Dan-feng, WANG Jie-yu, ZHU Cheng-yan

- (a. National Engineering Research Center of Modern Textile Processing Technology;
b. Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology,
Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This study makes a composite line through wrapping technology with basalt fiber and glass fiber as reinforced fiber and polypropylene as base fiber, weaves a prefabricated member of plain structure, prepares polypropylene base fiber reinforced woven composite through direct hot press molding process and conducts optimal design of composite molding process. The research result shows that, with the use of multi-layer prefabricated member composite and the addition of gasket adapted to the thickness of prefabricated member in the processing mould, polypropylene base fiber reinforced woven composite with a good molding effect can be produced and the purpose of molding optimization can be achieved. Meanwhile, thickness requirement of composite is met.

Key words: basalt fiber; glass fiber; polypropylene; composite; molding process; gaskets; multi-layer composite

(责任编辑:张祖尧)