

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.12.003

# 连续玻璃纤维增强聚丙烯复合板材的性能研究

方立<sup>1</sup>,周晓东<sup>1</sup>,吴忠泉<sup>2</sup>,王立敏<sup>3</sup>(1. 华东理工大学化工学院,化学工程国家重点实验室,上海 200237; 2. 中国兵器工业集团第 53 研究所,济南 250031;  
3. 北京汽车工程研究院,北京 100021)

**摘要:**利用熔融浸渍工艺制备了单向连续玻璃纤维增强聚丙烯(PP)预浸带,将其制成编织物后,采用层压成型工艺成功制备了连续玻璃纤维增强 PP 复合板材。考察了预浸带的浸渍效果,分析了取样方向和编织物层数对复合板材力学性能的影响规律。结果显示,预浸带具有良好的浸渍效果,当预浸带编织物层数为 5 层时,复合板材综合性能最佳。

**关键词:**连续玻璃纤维增强;熔融浸渍;编织物;层压板材

**中图分类号:** TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)12-0012-04

## Properties of Continuous Glass Fiber Reinforced Polypropylene Laminates

Fang Li<sup>1</sup>, Zhou Xiaodong<sup>1</sup>, Wu Zhongquan<sup>2</sup>, Wang Limin<sup>3</sup>

(1.State Key Laboratory of Chemical Engineering, School of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. CNGC Institute 53 Jinan, 250031 China; 3.Beijing Automotive Technology Center, Beijing 100021, China)

**Abstract :** Unidirectional continuous glass fiber reinforced polypropylene prepreg tapes were prepared by melt impregnation and then woven into fabrics. Next continuous glass fiber reinforced polypropylene laminates were prepared by using laminated molding. The impregnation effect was investigated and the influences of sampling direction and number of fabric layers on mechanical properties of laminates were analyzed. The results showed that the impregnation effect was well ; moreover, the mechanical properties of laminates were best when the number of fabric layers was 5.

**Keywords :** continuous glass fiber reinforced ; melt impregnation ; fabric ; laminate

热塑性复合材料具有更高韧性和损伤容限及可以反复加工和回收利用等传统热固性复合材料不可比拟的优点,已成为复合材料一个重要的发展方向<sup>[1-2]</sup>。其中,连续纤维增强热塑性复合材料由于具有更加优异的性能,能满足各种实际应用对材料性能的要求,成为目前研究的热点,其制品在航空航天、汽车、电子电器等众多领域得到了广泛的应用<sup>[3]</sup>。可以通过多种成型工艺制备连续纤维增强热塑性复合材料,如层压成型、拉挤成型、缠绕成型、铺放成型等<sup>[4-10]</sup>。

目前,制备连续纤维增强热塑性复合材料的原料以连续纤维编织物<sup>[11-12]</sup>及混纤纱<sup>[13]</sup>为主。对于连续纤维编织物,由于纤维的特殊编织结构,其浸渍难度远大于纤维束;而对于混纤纱,价格较为昂贵,并且只适合那些能够进行纺丝的热塑性基体。

笔者首先利用熔融浸渍工艺获得连续纤维增强聚丙烯(PP)单向预浸带,然后以其编织物为原料制备连续纤维增强热塑性 PP 复合板材,同时分析

了取样方向和编织物层数对复合板材性能的影响规律。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

PP : Y1600 型,中石化上海金山股份有限公司塑料部有限公司;

玻璃纤维(GF)无捻粗纱:988 型,巨石集团有限公司;

马来酸酐接枝 PP : 上海圆源高分子材料科技有限公司;

抗氧化剂 1010,168 : 上海汽巴高桥化学有限公司。

### 1.2 主要仪器与设备

单螺杆挤出机: SJØ45 型,张家港繁昌机械有限公司;

联系人: 周晓东,教授,从事通用聚合物材料的高性能化、功能改性以及聚合物基复合材料的制备及成型技术领域的工作

收稿日期: 2012-09-16

平板硫化机:QLB-25D/Q型,无锡中凯橡塑机械有限公司;

万能电子试验机:CMT4204型,深圳新三思有限公司;

光学显微镜:CPH-200E型,上海长方光学仪器有限公司;

冲击试验机:XJU-22J型,承德实验机有限责任公司;

马沸炉: SX2-4-10型,上海电机(集团)公司实验电炉厂。

### 1.3 试样制备

利用自行设计的熔融浸渍设备,采用熔融浸渍工艺制备了连续纤维增强PP单向预浸带。通过调节单螺杆挤出机转速和牵引速度对预浸带中GF的质量分数进行控制,获得所需纤维含量的预浸带。然后将得到的预浸带切取所需要的长度后手工编织成如图1所示的类似于单向编织物的形状。随后将编织物按照 $0^\circ/90^\circ$ 的交错方式置于组合模具内,在平板硫化机上进行层压成型。成型条件为:模具温度 $230^\circ\text{C}$ ,预热时间30 min,成型压力5 MPa,自然冷却条件下,进行长时间的保压,直至室温。

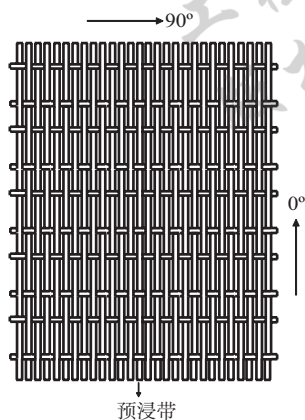


图1 预浸带编织物示意图

### 1.4 性能测试与表征

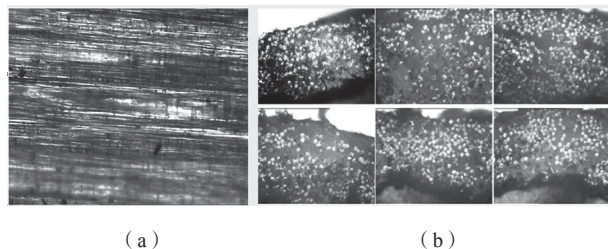
对GF增强PP层压板材试样进行拉伸、弯曲及缺口冲击强度测试,所依据的标准分别为ASTM D638-2003, ASTM D790-2003 和 ASTM D256-2004。

## 2 结果与讨论

### 2.1 浸渍效果观察

预浸带的浸渍效果会对最终制品的性能产生很大的影响,只有当树脂充分浸渍增强纤维时,才能充分发挥增强纤维高强度高模量的优势。为了判断

预浸带的浸渍效果,利用光学显微镜对预浸带表层和截面的纤维分布形貌进行了观察,其照片见图2。



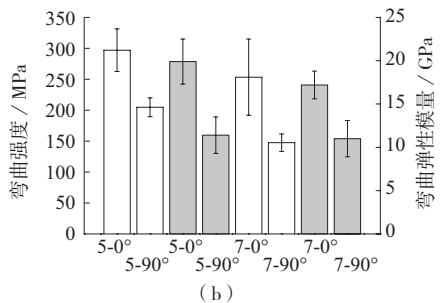
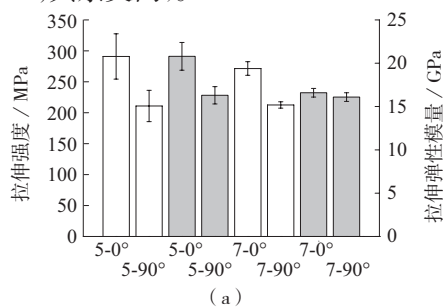
a—表层; b—截面

图2 预浸带光学显微镜照片

图2a是预浸带表面纤维分布情况,由图2a可以较为清晰地看到纤维单丝均匀分散在基体树脂中。图2b是预浸带截面处纤维的分散情况,单个透明的圆形光斑即为纤维单丝,单丝周围基本都包覆了基体树脂。这说明预浸带中除了部分区域是富树脂区以外,增强纤维基本上都能均匀良好地分散在基体树脂中,纤维的浸渍效果总体良好,从而能确保最终制品获得优异的力学性能。

### 2.2 不同取样方向对层压板材力学性能的影响

根据以上所描述的 $0^\circ/90^\circ$ 的交错铺放方式,当铺放层数为偶数时,可以认为 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 方向的力学性能基本相当,因此仅研究了铺放层数为奇数时 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 方向上力学性能差异。图3和图4分别是编织物铺放层数分别为5层和7层时层压板材的拉伸、弯曲性能和缺口冲击强度(纤维质量分数为50%,且图中的5- $0^\circ$ 表示为铺放层数为5层,取样方向为 $0^\circ$ ,其余类同)。



□—强度; ■—模量

图3  $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 取样方向上的拉伸、弯曲性能

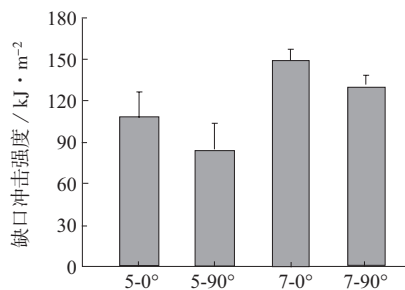


图4 0°和90°取样方向上的缺口冲击强度

由图3所示的拉伸、弯曲性能可以看出,在90°方向上制备的试样的拉伸、弯曲性能比0°方向上的低很多。因为拉伸、弯曲过程中主要是由受力方向上的纤维承载外力。当铺放层数为奇数时,0°方向上的铺层比90°方向上多一层,有更多的纤维承载外力,故层压板材在0°方向上显示出较高的性能。

从图4可以看到,0°方向和90°方向上的缺口冲击强度则相对接近。这主要是由于在外力作用下,垂直和平行于受力方向的纤维都能通过一定的形式吸收冲击能量。垂直于受力方向上的纤维在外力作用下主要发生断裂破坏,吸收较大部分的冲击能量;平行于受力方向上的纤维则在外力作用下,与基体产生相对滑移,产生摩擦,进而发生界面脱粘等破坏,这个过程也吸收一部分的冲击能量。同时也可以看出,0°方向破坏时吸收的能量更多。

### 2.3 不同编织物层数对层压板材力学性能的影响

图5是不同层数下层压板材0°取样方向上的缺口冲击强度。从图5可看到,缺口冲击强度随着层压板材铺放层数的增加而增强。因为在外界冲击作用下,垂直和平行于受力方向的纤维都能通过自身不同的破坏形式在冲击过程中吸收能量。故随着铺放层数的增加,在冲击过程中参与吸收能量的纤维数量增加,缺口冲击强度也随之增强。此外,还可发现,5层相对于4层和7层相对于6层时的增幅大于6层相对于5层时的增幅,这是因为前者增加的是0°方向的铺层,再结合图4,可以说0°方向铺层数量的增加所带来的缺口冲击强度的增幅较大。

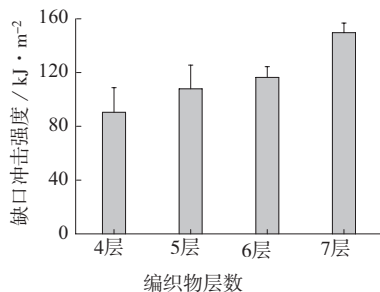


图5 不同层数下0°取样方向上缺口冲击强度

图6是不同层数下层压板材0°取样方向上的拉伸和弯曲性能。由图6可以看出,当铺放的编织物为奇数层时,层压板材的拉伸性能和弯曲性能均高于相邻的编织物为偶数层的层压板材。以铺放层数为5层的材料为例,相比于4层铺放层的层压材料,拥有多一层的0°方向用于承担载荷的纤维;相比于6层铺放层的层压材料,利用5层铺放层获得的板材厚度要小,在承载纤维(即0°方向纤维)数量基本一致的情况下,具有更好的性能。因此,奇数层板材的拉伸性能和弯曲性能均高于相邻的偶数层的层压板材。总之,当编织物层数为5层时,层压板材的综合性能最佳。

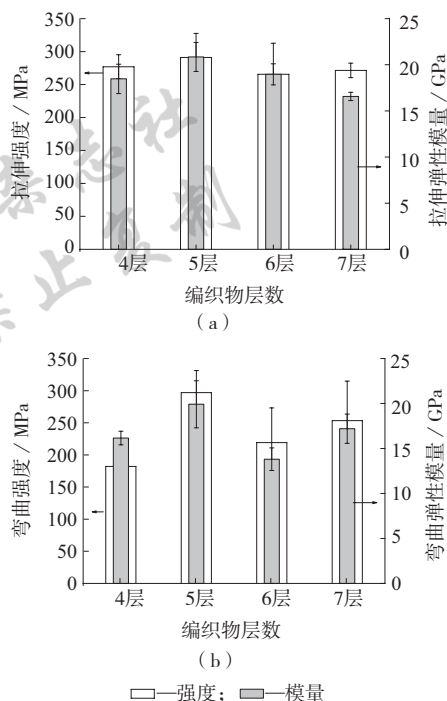


图6 不同层数下0°取样方向上拉伸性能和弯曲性能

### 3 结论

(1) 采用自主开发的熔融浸渍工艺制备了连续GF增强PP预浸带,预浸带的浸渍效果良好;利用其编织物制备连续纤维增强热塑性复合材料的工艺简单易行。

(2) 将预浸带制成编织物,交错铺放后进行层压成型,层压板材在0°方向上显示出较高的性能,并且当编织物层数为5层时,板材的综合性能最佳。

#### 参考文献

- [1] 章亚东,段跃新,左璐,等.经编织物法制备连续纤维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.
- [2] 徐海燕.连续纤维增强热塑性树脂基复合材料的加工方法的探

- 讨[J]. 福建轻纺, 2008(2): 7-12.
- [3] 杨铃铃, 梁基照. 连续纤维增强热塑性树脂基复合材料的制备与成型[J]. 塑料科技, 2007, 35(6): 34-40.
- [4] 陈平, 于祺, 孙明, 等. 高性能热塑性树脂基复合材料的研究进展[J]. 纤维复合材料, 2005(2): 52-57.
- [5] 余剑英, 周祖福. 连续纤维增强热塑性复合材料的制备成型技术及其应用前景[J]. 武汉工业大学学报, 1998, 20(4): 22-24.
- [6] Henninger F, Friedrich K. Thermoplastic filament winding with online-impregnation. Part A: Process technology and operating efficiency [J]. Composites: Part A, 2002, 33: 1479-1486.
- [7] 周效谅, 钱春香, 王继刚, 等. 连续纤维增强热塑性树脂基复合材料拉挤工艺研究与应用现状[J]. 高科技纤维与应用, 2004, 29(1): 41-45.
- [8] Nunes J P, Van Hattum F W J, Bernardo C A, et al. Marques advances in thermoplastic matrix towpregs processing [J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2003, 17(6): 523-544.
- [9] Schledjewski R. Thermoplastic tape placement process-in situ consolidation is reachable [J]. Plastics, Rubber and Composites, 2009, 38(9/10): 379-386.
- [10] 宋清华, 文立伟, 严飙, 等. 热塑性树脂基复合材料自动铺带技术[J]. 航空制造技术, 2011(15): 42-44.
- [11] 叶鼎铨. 玻璃纤维增强热塑性片(板)材发展概况[J]. 玻璃纤维, 2008(3): 28-34.
- [12] Ginger G. Thermoformable composite panels Part I [J]. Composites Technology, 2006(4): 36-41.
- [13] 张宝艳, Byun Joon-hyung, Kim Byun-sun, 等. 混纤纱制备热塑性复合材料研究评述[J]. 航空材料学报, 2000, 20(3): 178-186.

### 寻找共同的支点

——2012 和氏璧化工成立 20 周年庆典系列活动成功举办

2012 年 11 月 1~2 日, 以“寻找共同的支点”为主题的和氏璧化工 20 周年庆典在琴川古城常熟成功举办。在两天的时间里, 众多化工业界同仁、和氏璧化工合作伙伴欢聚一堂, 共同庆祝和氏璧化工 20 华诞。

和氏璧化工 20 周年庆典活动共邀请到近 300 位嘉宾莅临, 中国石油和化学工业联合会副会长兼秘书长赵俊贵, 常熟市副市长陈惠良, 常熟市副市长等常熟市政府有关部门领导, 赢创德固赛(中国)投资有限公司、罗门哈斯(中国)投资有限公司(陶氏化学成员企业)、杜邦(中国)投资有限公司、优信邦泰(上海)化学品贸易有限公司、中国宋庆龄基金会、华侨大学、广东省民主建国会、常熟三爱富中昊化工新材料有限公司相关领导, 以及 ARKEMA、BASF、CRODA、CP Chemical、DIC、ExxonMobil、Ensinger、GEO、Honeywell、Kuraray、LG Chem、LANXESS、LyondellBasell、MINTH、P&G、RTP、Styrolution、等知名企业的诸多业界人士出席了晚宴, 其中更有自全球化工 500 强的 24 家企业。出席晚宴活动的还有同和氏璧合作多年的客户伙伴、金融、物流、媒体、院校等朋友。大家共同见证和氏璧化工辉煌发展的历程, 以及和氏璧在化工分销服务领域创新型的各项跨越。

和氏璧集团董事长、总裁潘敏琪先生激情澎湃的欢迎辞中对全球经济环境现状作了展望, 并回顾了和氏璧化工 20 年的风雨历程以及所取得的骄人业绩。庆典活动期间特意安排了各位来宾与常熟市长见面会。会上, 常熟市人民政府副市长陈惠良介绍了常熟市得天独厚的地理、港口、物产和优秀的人文历史, 尤其介绍了改革开放以来, 常熟市招商引资所取得的长足的发展, 并表达对国内外知名化工企业高层人员亲临常熟表示热烈欢迎。常熟市人民政府副市长朱亚辉先生高度评价了和氏璧化工发展 20 年间, 积极响应党中央、国务院建设创新型国家的战略决策, 始终把创新作为自身发展的头等大事, 并已成功完成了从一家纯粹的贸易企业

过渡到具备制造工厂、技术中心和培训基地的综合发展型企业, 为常熟社会经济发展作出了显著贡献。和氏璧化工具有高度的社会责任感, 积极投身教育、慈善等公益事业, 为多所高校设立和氏璧奖学金, 这种回馈社会的举措为常熟地方企业树立了榜样。朱副市长表示, 常熟市地方各级政府将一如既往、不遗余力地协助和支持民营化工企业不断发展壮大。中国石油和化学工业联合会赵俊贵副会长、供应商代表赢创德固赛洪中博士、客户代表贝特利总经理欧阳旭频先生、德勤咨询总裁赖有猷先生以及和氏璧化工员工代表黄慧红女士先后致辞, 为和氏璧化工致以最真诚的祝福。

11 月 2 日, 和氏璧化工办公大楼落成典礼在常熟方浜工业园隆重举行。常熟市政府陈副市长、朱副市长、石化联合会赵副会长以及供应商客户代表, 同和氏璧化工方浜工业园的全体员工一起参加了隆重、热烈的剪彩仪式。和氏璧常熟方浜工业园占地 45 亩, 构建集生产、研发、仓储物流、办公于一体的和氏璧化工新产业基地。和氏璧办公大楼的正式落成, 预示着工业园各项工作的全部正式启动。

和氏璧化工与中国经济一同走过高速发展的 20 年。作为过往中国化工分销平台的领军者之一, 和氏璧化工承载着梦想, 以锐意创新的基因、坚韧不拔的毅力, 继往开来, 让共识与共赢的理念在化工舞台上腾飞!

(和氏璧化工)

### 法国政府资助研究可生物降解塑料

据法国《回声报》11 月 13 日报道, 法国政府支持绿色环保领域技术研发工作, 法国创新署(OSEO)近日决定在“工业战略创新”计划出资 960 万欧元支持联营企业 Thanaplast 研究可生物分解型塑料, 至此 Thanaplast 在此项目上获得了各类资金支持已达 2200 万欧元。

这一研究计划得到了法国众多企业和科研院所的支持和参与, 旨在进一步改进法国垃圾回收和再利用工作, 提升法国生物聚合产业的研发和生产能力。

(工程塑料网)