

复合材料用混纤纱的结构与浸渍性能研究*

李 龙 张茂林 王俊勃 段亚峰 赵 伟

(西安工程科技学院 西安 710048)

文 摘 利用达西定律分析了混纤纱结构对基体浸渍性能的影响,并分析了增强纤维/热塑性纤维并列纱、理想混纤纱、一般混纤纱的基体浸渍特征,增强纤维的膨松以及增强纤维/热塑性纤维的良好混合度有利于基体的浸渍,复合材料的弯曲性能提高。

关键词 复合材料,混纤纱,纱线结构,浸渍性能

Investigation on Structure and Impregnating Property of Commingled Yarn for Composites

Li Long Zhang Maolin Wang Junbo Duan Yafeng Zhao Wei

(Xi'an Institute of Science and Technology Xi'an 710048)

Abstract Effect of yarn structure on impregnating properties is analyzed by using Darcy's law, and impregnating behavior of yarn with various structures (uncommingled yarn of reinforcing fiber/thermoplastic fiber, ideal commingled yarn, commingled yarn) is studied. Fluffiness of reinforcing fiber bundle and good mixing of reinforcing fibers/thermoplastic fibers may improve matrix impregnating properties and mechanical properties of composites.

Key words Composite, Commingled yarn, Yarn structure, Impregnating property

1 引言

在纤维增强树脂基复合材料领域中,连续纤维增强热固性树脂基复合材料占有相当大比例,而材料韧性优良并可以再生利用的纤维增强热塑性树脂基复合材料的研究和应用相对较少。进入20世纪80年代,连续纤维增强热塑性塑料的研究成为国际上关注的热点课题。由于高性能热塑性基体塑料(如PEEK)具有高的熔融温度和熔融粘度,因此引起基体润湿、浸渍增强纤维以及在成型加工中基体流动的问题。为了克服这些困难,开发了一种新的纤维增强热塑性复合材料预浸料——增强纤维与热塑性基体纤维混合而成的混纤纱,其优点可以克服高分子量聚合物浸渍的困难;两相纤维的比率能够精

确控制,容易调节增强纤维和基体的比例;有良好的柔顺性,容易适应复杂形状;混纤纱可以进行机织、针织和编织加工分别形成机织物、针织物与编织物预浸料,也可以进行单向缠绕加工单向板。对混纤型纤维增强复合材料而言,混纤纱结构即增强纱结构和增强纤维/热塑性基体纤维混合程度是影响纤维增强复合材料性能的重要因素。本文从混纤纱复合材料制作中熔融的基体浸渍特性出发,分析混纤纱结构影响热塑性复合材料性能。

2 混纤纱结构与浸渍性能

用混纤纱加工复合材料的主要目的之一是解决基体的浸渍问题。这里从增强纤维/基体纤维均匀混合、增强纱的膨松对熔融基体的浸渍影响的观点,

收稿日期:2002-03-05;修回日期:2002-05-29

*教育部骨干教师资助项目:3020

李龙,1964年出生,博士,主要从事纤维复合材料工艺性能研究工作

提出实现复合材料用混纤纱的加工技术要求。

2.1 基体浸渍度

如果两相纤维相互之间均匀混合[如图 1(a)所示],在复合材料制作中熔融的热塑性基体不需要流经长的路径,就可以很好地浸渍增强纤维。相反,若两相纤维的混合程度差[如图 1(b)所示],当热塑性纤维熔融变为基体而浸渍增强纤维时,就必须流经较长的路径,以向增强纱内部渗透,并且由于纱线中纤维的密集堆砌,熔融的粘性基体向纱线内流动而发生浸渍是极其困难的,即使用较长的加工时间也很难达到完全浸渍的效果。



(a) 理想混纤纱结构 (b) 并列型纱线结构

图 1 两种特有混纤纱结构形式

Fig. 1 Two typical mixing structures of reinforcing fibers and matrix fibers

代表增强纤维; 代表基体纤维。

假设对单个纱线(半径 r_{10}),纱线周围熔融基体均匀向纱线内部渗透后,仍有半径为 r_{11} 的纱线未被基体浸渍(如图 2),如只考虑纱线的横截面积,那么,由前川善一郎^[1]提出的基体浸渍度 D 定义可得:

$$D = \frac{\text{基体浸渍面积}}{\text{基体未浸渍时纱线面积}} = \frac{(r_{10}^2 - r_{11}^2)}{r_{10}^2} = 1 - \frac{r_{11}^2}{r_{10}^2} \quad (1)$$

若把半径为 r_{10} 的纱线被基体纤维均匀分为 n 个半径相等的小纱,其它性质不变,那么小纱的半径 r_{1n} 为:

$$r_{1n} = \frac{1}{\sqrt{n}} r_{10} \quad (2)$$

应用牛顿流体通过多孔介质的达西定理来模拟树脂通过纤维集合体的流动^[2],在增强纱性能与结构、复合材料加工的温度、压力和时间不变的情况下,熔融基体的流动速度为常数,那么纱线被分为 n 个半径相等的小纱时,基体浸渍度 D_n 为:

$$D_n = n \left(1 - \frac{r_{1n}^2}{r_{10}^2} \right) = n \left(1 - \frac{r_{11}^2}{r_{10}^2} \right) = nD \quad (3)$$

式中, r_{12} 为小纱中未被基体浸渍的纱线半径, r_{1n} 为小纱半径。

由式(3)可以看出,当一纱线被基体分为 n 个小纱后,基体浸渍度为原纱的 n 倍。这时,基体浸渍效果大大提高。因此对混纤型复合材料,若增强纤维与热塑性基体纤维混合程度越好,基体浸渍度越好,可以有效地解决热塑性复合材料加工中基体浸渍问题。

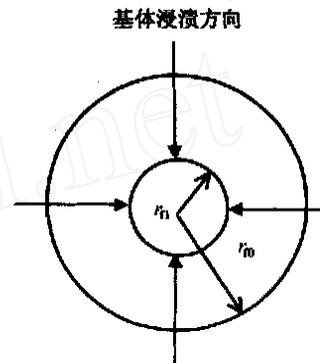


图 2 基体浸渍纤维纱简图

Fig. 2 Sketch of yarn impregnated by matrix

2.2 增强纱的膨松

按照柯兹尼理论^[3],对直径为 d_f 的圆形纤维,渗透系数 K 为:

$$K = \frac{d_f^2}{4 K_Z} \cdot \frac{3}{(1 - \epsilon)^2} \quad (4)$$

式中, ϵ 为孔隙率, K_Z 为柯兹尼常数。

由(4)式可得:

$$\frac{\partial K}{\partial \epsilon} = \frac{3}{2} (1 - \epsilon)^{-3} > 0$$

由此可以得到渗透系数与孔隙率成正比。

在混纤纱复合材料加工中,渗透性表示熔融基体在压力作用下浸渍增强纤维的容易程度,其数值大小由增强纱结构、增强纤维的性能以及纤维体积含量等因素决定。经过特定工序膨松增强纱,使其呈膨松状态,纤维间产生孔隙,将是提高渗透性即熔融基体湿润、浸渍增强纤维的一个重要方法。增强纱膨松后,在复合材料加工中提高了基体的流动速度,使其能较完全地湿润、浸渍增强纤维,减少了增强纤维集束区的存在,提高复合材料性能。

2.3 不同结构纱线的浸渍特征分析

2.3.1 并列结构纱

对于并列结构纱线[如图 1(b)],基体纤维熔融

浸渍增强纤维可以分为两个阶段:第一阶段熔融基体处于纱线外,增强纱中基本上没有基体;第二阶段熔融基体向增强纱内部渗透,同时由于基体流动的

动态平衡,纱中基体向外渗透。他们的渗透程度取决于增强纱的结构状态即孔隙率。浸渍过程如图3所示。

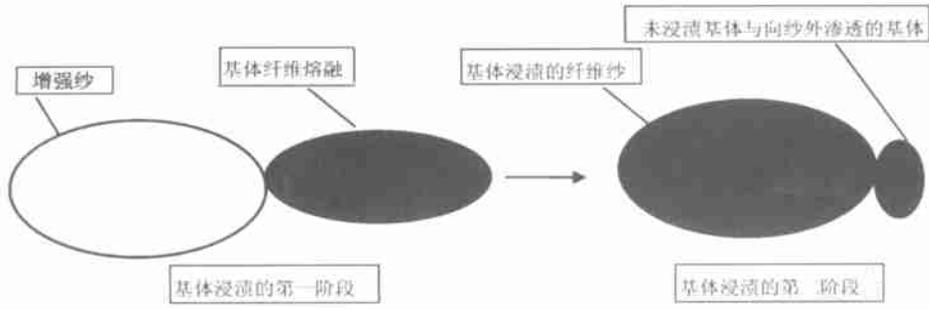


图3 并列纱基体浸渍行为

Fig.3 Sketch of matrix impregnating behavior for uncommingled yarn

2.3.2 理想混纤纱

理想混合结构纱线[如图1(a)],基体纤维熔融也分为两个阶段。首先,熔融基体在纱线内填充;第

二,纱线内一些基体向纱线外渗透。浸渍行为如图4所示。

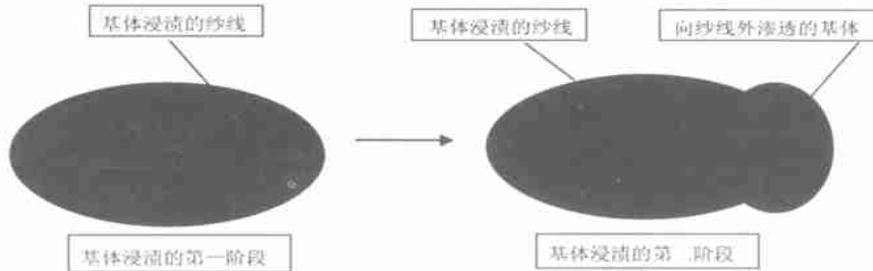


图4 理想混纤纱基体浸渍行为

Fig.4 Sketch of matrix impregnating behavior for ideal commingled yarn

2.3.3 一般混纤纱

对于结构介于并列纱与理想混合纱线之间的一般混纤纱,其基体浸渍过程分为两步:第一,位于纱线外层的聚合物纤维熔融为基体,位于纱线内部的

基体纤维熔融并填充纱线内增强纤维间空隙;第二,纱线外的基体向纱内渗透,同时由于基体流动的动态平衡,纱中基体向外渗透。其浸渍行为如图5所示。

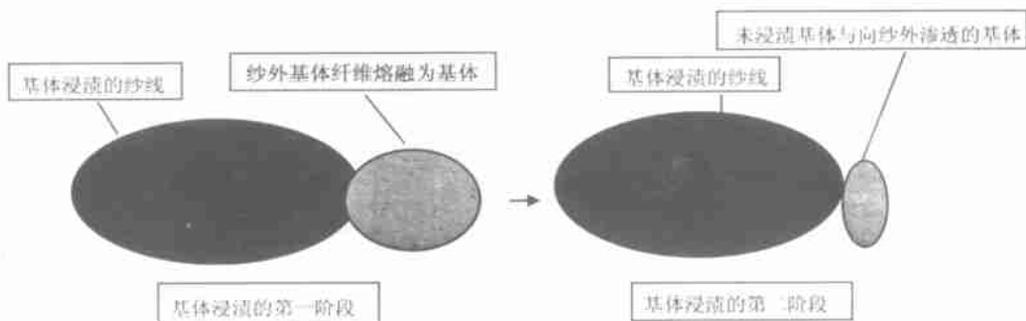


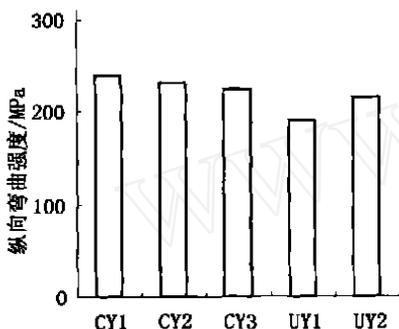
图5 一般混纤纱基体浸渍行为

Fig.5 Sketch of matrix impregnating behavior for ordinary commingled yarn

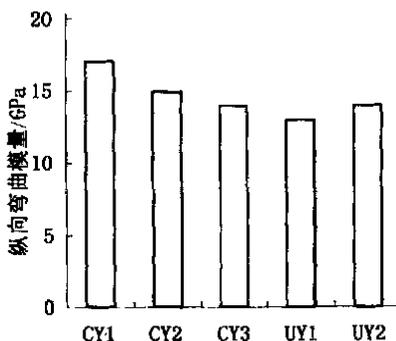
由上面三种不同结构纱线的浸渍行为可知,纱线结构不同,在复合材料加工中基体的浸渍行为不同。在热压参数相同的条件下,增强纤维与基体纤维相互混合程度好的纱线,基体纤维熔融后极易浸渍增强纤维,可以提高混合纱复合材料的生产效率。

3 不同结构纱线复合材料的性能

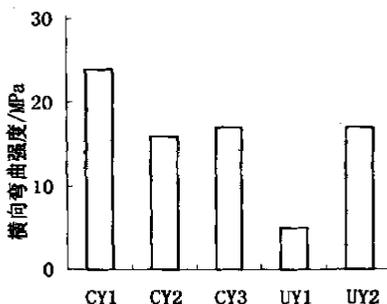
玻璃纤维/聚丙烯长丝喷气混纤纱复合材料(CY1、CY2、CY3)与玻璃纤维/聚丙烯长丝并列纱复合材料(UY1、UY2)的力学性能如图6所示^[3,4]。



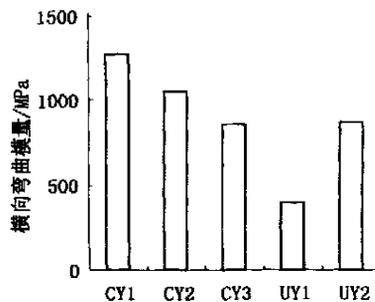
(a)



(b)



(c)



(d)

图6 复合材料的力学性能

Fig. 6 Mechanical properties of composites

其中纱线CY1中玻璃纤维与聚丙烯长丝有较好的混合,纱线CY3中玻璃纤维与聚丙烯长丝的混合程度较差,纱线CY2中玻璃纤维和聚丙烯长丝的混合程度介于二者之间。并列纱UY1中的玻璃纤维纱没有进行膨松,而UY2中的玻璃纤维纱进行了适当膨松。在图6中,对不同的喷气混纤纱复合材料以及不同膨松性玻璃纤维纱/聚丙烯长丝并列纱复合材料的弯曲性能进行比较,结果的差异主要是不同结构纱线中玻璃纤维与聚丙烯纤维的混合程度、玻璃纤维纱膨松性的不同所致。

4 结论

通过在混纤纱中增强纤维/基体纤维的均匀混合及增强纱的膨松对基体浸渍和复合材料性能影响的作用分析,得到复合材料用混纤纱应满足下述条件:

- (1) 混纤纱中增强纤维与基体纤维必须充分混合,以加快基体浸渍速度,以提高复合材料力学性能及复合材料的成型速度;
- (2) 增强纱的结构要适当膨松,增加纱线的孔隙率,以提高基体的浸渍性能。

参考文献

- 1 前川善一郎. 先端高分子系复合材料の技术动向. 材料(日), 1989; 38(435): 1168
- 2 Kocsis J K. Polypropylene: structure, blends and composites. Chapman & Hall, London, 1995: 268 ~ 269
- 3 李龙. 纤维集合体结构对混纤型复合材料性能的影响. 宇航材料工艺, 2001; 3: 26
- 4 Li Long, Yu Jianyong, Wang Shanyuan. Mechanical properties of air-jet commingled yarn composites, SAMPE J., 1997; 6: 29

(编辑 马晓艳)