

成型条件对聚丙烯 / 芳纶复合材料基体浸渍的影响^{*}

李 龙 储长流 张茂林 王俊勃
(西安工程科技学院, 西安 710048)

摘要 复合材料的成型条件如成型时间、成型压力、成型温度等影响基体的浸渍程度。以 Darcy 定律为基础, 分析基体完全浸渍所需时间的浸渍模型。研究了不同的成型温度、成型压力及聚丙烯 (PP) 基体对不同芳纶体积分数的 PP/芳纶复合材料浸渍程度的影响。试验表明, 随成型温度和成型压力的增加, 完全浸渍时间 t_{max} 不断减小; 随着芳纶体积分数的增加, PP 基体完全浸渍所用的时间也延长。

关键词 芳纶 聚丙烯 复合材料 成型条件 浸渍

混杂纤维增强热塑性复合材料的成型工艺有许多优点^[1,2]。在复合材料成型加工中, 基体的浸渍程度受到成型条件(时间、压力、温度)及增强材料结构空隙率等影响。在一定成型压力与温度下, 基体完全浸渍增强纤维的时间越短, 加工效率越高。笔者对芳纶-聚丙烯 (PP) 织物在不同成型温度和压力下, PP 基体浸渍芳纶的浸渍程度进行了研究。

1 实验部分

1.1 原材料及试样制备

试验用混纺织物由芳纶长丝束与 PP 长丝束交织而成, 其中经向为芳纶长丝束, 纬向为 PP 长丝束。芳纶长丝线密度为 166 tex, PP 长丝线密度为 15.4 tex。混纺织物的经纱密度分别为 80 根/10 cm、120 根/10 cm 及 140 根/10 cm, 幅宽 25 cm。选用体积分数分别为 60%、70%、75% 和 80% 的芳纶长丝束与 PP 长丝束交织, 压制成 1[#]、2[#]、3[#]、4[#] 试样。

1.2 基体浸渍模型

根据 Darcy 定律, 推出熔融 PP 基体在芳纶纤维间浸渍流动的距离 x 随着浸渍时间变化的方程^[3]为:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{K_p}{\mu} \times \frac{dp}{dx} \tag{1}$$

式中: $\frac{dx}{dt}$ ——熔融 PP 基体的浸渍速度;

μ ——熔融 PP 基体的粘度;

K_p ——芳纶长丝束的渗透率;

$\frac{dp}{dx}$ ——压力梯度。

熔融 PP 在芳纶长丝束内沿 x 方向流动距离为 x 时所需的时间 t 为:

$$t = \frac{1}{2} \times \frac{\mu x^2}{K_p \cdot P} \tag{2}$$

熔融 PP 在芳纶长丝束内浸渍流动的距离 x 随着浸渍时间变化的方程为:

$$X(t) = \frac{2K_p \cdot P}{\mu} \times t \tag{3}$$

渗透率 K_p 与芳纶长丝束内芳纶长丝的体积分数 V_{II} 有关。根据 Sridhar Ranganathan^[4] 及紧密六方密堆积极限理论^[5] 等推出 K_p 应满足 (4) 式:

$$K_p = 0.255 \times \frac{d^2}{4} \left(\frac{90 \times 69}{V_{II}} - 1 \right)^{2.52} \tag{4}$$

式中: d ——芳纶纤维的直径;

V_{II} ——芳纶纤维的体积分数。

对于 PP 基体, 其熔体粘度与温度的关系为^[6]:

$$\mu = 2.6 \times 10^3 \exp \frac{5600}{T(K)} \tag{5}$$

2 结果与分析

试验分析不同芳纶体积分数的芳纶-PP 混纺织物压制成型复合材料的浸渍性能。根据 (1) 式计算、分析成型温度、成型压力等对 PP 基体完全浸渍芳纶长丝束所需时间的影响。芳纶-PP 长丝混纺织物的参数见表 1。

表 1 芳纶-PP 长丝混纺织物的参数

参 数	数值
芳纶纤维直径 d/mm	12×10^{-3}
芳纶纤维的密度 $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.44
芳纶-PP 混纺织物经纱密度 $\rho_{II}/\text{根} \cdot (10\text{ cm})^{-1}$	140
压制成型温度 $T/^\circ\text{C}$	185 ~ 230
压制成型压力 P/MPa	2 ~ 9

2.1 成型温度对完全浸渍时间 (t_{max}) 的影响

不同成型压力下, 成型温度对 PP 基体浸渍程度的影响见图 1。从图 1 可以看出, 随着成型温度的增高, 熔融 PP 完全浸渍芳纶纤维所需的时间不断减小, 当温度由 185 $^\circ\text{C}$ 升高到 230 $^\circ\text{C}$ 时, 不论是 1[#]、

^{*} 教育部高等学校骨干教师项目 (3020)、陕西省教育厅专项基金项目 (02 KJ169)
收稿日期: 2003-05-30

2[#]、3[#]试样还是4[#]试样,它们完全浸渍芳纶纤维所需的时间均减小了近一半。

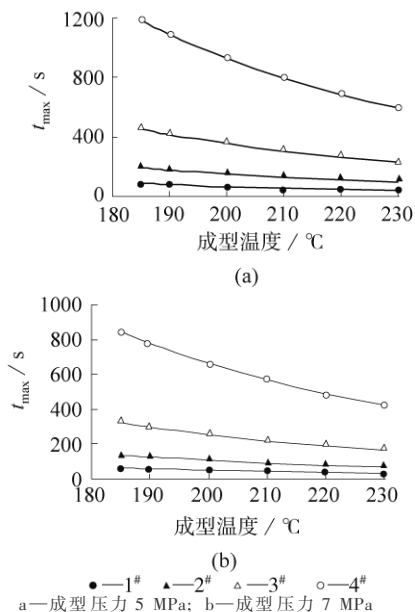


图1 成型温度对完全浸渍时间(t_{max})的影响

芳纶纤维的体积分数对完全浸渍时间(t_{max})的影响极为显著。随着芳纶纤维体积分数的增加,基体完全浸渍所用时间显著增加,当芳纶纤维体积分数由60%(1[#]试样)增加到80%(4[#]试样)时, t_{max} 增加了近1个数量级;当成型压力由5 MPa增加到7 MPa时,对于一定的芳纶纤维体积分数,PP基体完全浸渍芳纶纤维所需的时间缩短。芳纶纤维的体积分数越大,PP基体浸渍程度受成型压力与成型温度的影响越大。

2.2 成型压力对 t_{max} 的影响

图2示出成型压力对 t_{max} 的影响。从图2可以看出,对于不同体积分数的芳纶纤维,随着成型压力的增加,PP基体完全浸渍芳纶纤维所需的时间相应减小。当成型压力由2 MPa增加到7 MPa时,有利于熔融PP在芳纶纤维间的流动浸渍,改善了浸渍效果,宏观上体现为其横向拉伸强度的提高^[7]。同

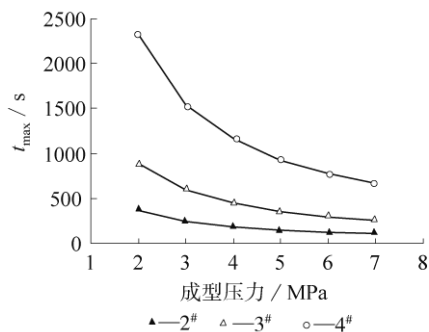


图2 成型压力对 t_{max} 的影响(成型温度均为 200°C)

时,随着芳纶纤维体积分数的增加, t_{max} 明显延长,当芳纶体积分数由70%(2[#]试样)增加到80%(4[#]试样)时, t_{max} 增加了6~8倍。对于4[#]试样,当成型温度为200°C时,在不同的成型压力下要达到完全浸渍所需时间为700~2500 s。

3 结论

聚丙烯基体完全浸渍芳纶所需要的时间与成型温度和成型压力等工艺参数有关。随着成型温度和成型压力的增加,完全浸渍时间不断减小。当芳纶体积分数增加时,聚丙烯基体完全浸渍所用的时间也延长。

参考文献

- Ye L, Friedrich K. Interlaminar fracture of commingled yarn based GF/PP composites. *J Material Science*, 1993, 28: 773
- Li Long, Yu Jianyong, Wang Shanyuan. Mechanical properties of air-jet commingled yarn composites. *SAMPE Journal*, 1997, 33: 29
- 储长流. 芳纶/聚丙烯混纤型复合材料的工艺性能研究: [硕士论文]. 西安: 西安工程科技学院, 2002.
- Sridhar Ranganathan. A generalized model for the transverse fluid permeability in unidirectional fibrous media. *Polymer Composites*, 1996 (2): 222
- 高峰, 姚穆. 纤维体含量对纤维增强复合材料拉伸断裂强度的影响. *纺织学报*, 1996(1): 4
- Li Long, Wang Shanyuan, Yu Jianyong. Effect of thermal processing condition on mechanical properties of composites made from air-jet commingled yarn. *Journal of Advanced Materials*, 1998(3): 42
- 储长流, 李龙, 张茂林. 加工条件对芳纶/PP复合材料横向拉伸性能的影响. *工程塑料应用*, 2003, 31(2): 20

EFFECT OF THE PROCESSING CONDITION ON THE IMPREGNATING OF PP/KEVLAR COMPOSITES

Li Long, Chu Changliu, Zhang Maolin, Wang Junbo

(Xi'an University of Engineering Science and Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT The processing conditions of forming composites such as time, pressure and temperature influence the matrix's impregnating degree. Based on Darcy's law, the impregnating model for the time impregnating Kevlar fully was discussed. The effect of different temperature and pressure on the impregnating degree for different Kevlar volume was investigated. The experimental results showed that the time of matrix's impregnating decreased with the increase of temperature and pressure, and impregnating time increased with the decrease of Kevlar volume.

KEYWORDS Kevlar, polypropylene, composite, processing condition, impregnating