

热加工条件对喷气混纤型 复合材料中空隙率的影响

周 建

(江南学院)

李 龙

(西北纺织工学院)

王善元 俞建勇

(中国纺织大学)

【摘要】 本文采用玻璃纤维/聚丙烯喷气混纤纱单向缠绕并在平板热压硫化机上制作玻璃纤维/聚丙烯单向复合材料,并利用纤维增强复合材料中空隙率测试方法,分析了加工条件对喷气混纤型玻璃纤维增强聚丙烯塑料中空隙率的影响。

关键词: 玻璃纤维 聚丙烯纤维 喷气混纤纱 复合材料 空隙率

中图分类号: TS106.6

长期以来,连续纤维增强热固性复合材料起主导地位。然而,在近10年时间内,连续纤维增强热塑性复合材料的研究成为国际上关注的热点课题。由于热塑性基体具有高的熔融温度和熔融粘度,因此引起润湿、浸渍增强纤维以及在成型加工中塑料流动的问题。为了克服这些困难,开发了一种新的热塑性复合材料预浸料—增强纤维与热塑性基体所纺制的纤维混合构成的混纤纱。作为连续纤维增强热塑性复合材料预浸料的一种新方法,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。对纤维增强塑料而言,材料内部的中空隙率是影响纤维增强复合材料性能的因素之一。混纤型纤维增强热塑性复合材料的空隙率也是材料加工中需要解决的主要问题。本文采用混纤纱线单向缠绕方法研究加工条件对喷气

混纤型玻璃纤维/聚丙烯复合材料(重量比50:50%)中空隙率的影响。

一、空隙率对纤维增强复合材料性能影响

空隙率是材料所不要求的内部缺陷,在纤维增强复合材料加工中应该尽量减小或去除。空隙在复合材料中的存在,尤其对复合材料支配的材料性能如层间剪切、压缩、疲劳寿命等有不利的影晌。但对所有纤维增强复合材料系统,从纤维增强复合材料中完全去除空隙是不可能的,因此必须考虑空隙对纤维增强复合材料的影响^[1]。S. R. Ghirose^[2]报道了空隙率与纤维增强复合材料力学性能的关系:

$$S = S_0 \times e^{-bv} \quad (1)$$

式中: S 为有空隙材料的力学性能; S_0 为无空隙材料的力学性能; b 为空隙率与力学性能的关系常数,不同力学性能 b 值不同; v 为材料的空隙率。

由方程(1)可知,纤维增强复合材料力学性能与其空隙率为负指数函数关系,当材料中的

空隙率等于零时,其力学性能最优。

玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的理论空隙率为:

$$\rho_t = \rho_f \rho_m / (w_f \rho_m + w_m \rho_f) \quad (2)$$

$$\text{试样实际密度 } \rho_r = m_b \rho_t / (m_b - m_a) \quad (3)$$

玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的表观空隙率

$$V_a = (\rho_t - \rho_r) / \rho_t \quad (4)$$

式中: w_f 玻璃纤维重量含量; w_m 聚丙烯的重量含量; ρ_f 玻璃纤维密度 (2.5g/cm^3); ρ_m 聚丙烯密度 (0.9g/cm^3); ρ_t 为液体(蒸馏水)密度; m_b 、 m_a 分别为试样浸入蒸馏水前后的重量。

由式(2),对玻璃纤维增强聚丙烯复合材料(重量比 50 : 50%)的理论空隙率为 1.323g/cm^3 。

二、单向喷气混纤型纤维增强复合材料制作

1. 制作原理

增强纤维和热塑性纤维混纤纱加工成刚性的纤维增强热塑性复合材料是利用热塑性塑料纤维可以反复熔融-结晶的物理特性,通过应用热和压力来实现的。在热作用下,塑料纤维熔融为基体,借助于压力和时间使基体融体浸渍增强纤维以达到材料固化。正常的固化周期为:温度上升到基体纤维的熔点温度以上(通常比熔点温度高 $20\sim 30^\circ\text{C}$),使基体纤维完全转变为熔融体,施加足够的压力和时间迫使其浸渍增强纤维,除去气孔,直至材料达到完全浸渍。然后降温冷却即可得到固化的纤维增强热塑性复合材料。

2. 制作工艺

单向复合材料制作步骤:纱线单向缠绕→单向层片→单向铺层→热压固化→单向纤维增强塑料板

(1) 单向层片制作

用 Y318A 型摇黑板机将纱线均匀缠绕在铝板上,重复 4 次,然后在平板硫化机上进行热压,使塑料基体纤维熔融湿润增强纤维。热压后的铝板及材料放入水中冷却,然后沿着铝板边

缘进行分割,得到单向层片。

单向层片选用热压条件:压力为 0.5MPa 、温度为 200°C 、时间为 5min 。

(2) 单向板制作

把模具放在平板硫化热压机上,同热压机一起升温。当压机温度升高到设定温度(依据固化加工参数而定)时,取出模具并在其内表面放聚酯膜或涂硅油,然后把单向浸渍层片放入模具,闭模后再放入压机进行热压。达到时间后停止加热,稍后进行卸压、取出模具,直至模具温度冷却到室温时,开模取出模具中的试样即纤维增强热塑性复合材料单向板。

3. 单向板加工条件

试验用喷气混纤型玻璃纤维/聚丙烯复合材料单向板的加工条件见表 1 所示。

表 1 试验用加工条件

实验号	温度($^\circ\text{C}$)	压力(MPa)	时间(min)
1#	200	1.5	20
2#	200	1.5	30
3#	200	1.5	40
4#	200	0.5	30
5#	200	2.5	30
6#	185	1.5	30
7#	220	1.5	30

三、空隙率测试

参照 ASTM D792 测试标准,测试与计算复合材料中的空隙率。

四、试验结果与分析

在实验选用的加工条件下,得到的喷气混纤型玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率见表 2 所示。

表 2 玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率

实验号	温度($^\circ\text{C}$)	压力(MPa)	时间(min)	空隙率(%)
1#	200	1.5	20	5.23
2#	200	1.5	30	3.14
3#	200	1.5	40	2.47
4#	200	0.5	30	9.72
5#	200	2.5	30	2.05
6#	185	1.5	30	5.89
7#	220	1.5	30	2.84

由表 2 试验结果可知,加工条件(温度、压

力、时间)影响玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率。

(1) 温度的影响

粘度是表示聚合物融体流动性好坏的一项指标。随着温度升高,聚合物链段活动能力增加,分子间的相互作用力减弱,因此聚合物的融体粘度降低,流动性增大。聚合物的融体粘度随温度变化可用阿累尼乌斯方程表示^[3]:

$$\mu = A \exp(E/RT)$$

式中: A 是与剪切速率、剪切力和分子结构有关的常数; E 是粘性流动活化能。

对于聚丙烯,其融体粘度与温度的关系为^[4]:

$$\mu = 2.6 \times 10^{-3} \exp(5600/T_k) \quad (5)$$

式中: μ 为聚丙烯的粘度。

由方程(5)可以得到,当温度为 185 C ($T=458K$), $\mu=531Pa \cdot s$; 温度为 200 C ($T=473K$), $\mu=360Pa \cdot s$; 温度为 220 C ($T=493K$), $\mu=222Pa \cdot s$ 。聚丙烯粘度的降低有利于基体的浸渍,增加基体对增强纤维的湿润度,导致基体与纤维有良好的界面结合,减小玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率。

由表 2 结果可知,在压力 1.5MPa、时间 30min 条件时温度从 185 C 增至 220 C,玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率变小。当温度从 200 C 增加到 220 C,虽然聚丙烯粘度降低 138pa. s,但玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率变化很小。

(2) 压力的影响

增加压力,一方面可以迫使基体的流动,提高基体的浸渍性能,驱除玻璃纤维间存在的空气,减小玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率;另一方面,外力的增大,实质上是更多地低消聚合物分子链的热运动,使分子链的重心有效地发生位移,因此使聚合物在较低的温度下即可发生流动^[3]。

由试验结果可知,在温度 200 C、时间 30min 条件时,随着压力从 0.5MPa 增加至 2.5MPa,玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率明显降低。

(3) 时间的影响

增加加工时间,可以保证塑料基体的充分浸渍;同时加工时间延长,有助于高分子产生粘性流动,因此增加作用时间相当于降低粘流温度即聚合物开始粘性流动的温度。

从表 2 中试验结果得到,在温度 200 C、压力 1.5MPa 条件时,加工时间从 20min 增至 40min,玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率降低。其中时间从 20min 增加到 30min,玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率降低明显。

五、结 论

通过加工条件对喷气混纤型玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率的研究得到,热压条件(温度、压力和时间)对玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率有影响。在一定的加工条件下,增加压力、提高温度和延长加工时间,可以减小玻璃纤维增强聚丙烯复合材料中空隙率。但是温度过高会使热塑性基体发生分解,并消耗能量;加工时间的延长会降低生产效率、增加加工成本。

本文为国家教委高等学校博士学科点基金项目部分工作。

参 考 资 料

- [1] Jan-Anders E. Manson, Terry L. Schneider and James C. Seferts, *Polymer Composites* 11 (1990), 114.
- [2] S. R. Ghiorse, *SAMPE Q.* (1993), (1), 54.
- [3] 吴和融、王彬芳:《高分子物理学》,华东化工学院出版社,1990.
- [4] L. Ye, V. Klunkmuller and K. Friedrich, *J. Thermoplastic Composite Materials* 5 (1992), 32.