

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.02.017

玻纤编织布复合材料 VARI 工艺中树脂流动行为研究

赵晨辉, 张广成, 李莎莎

(西北工业大学理学院, 西安 710072)

摘要: 采用可视化实验方法研究了玻纤编织布铺层真空辅助成型工艺中树脂的流动行为。结果表明, 导流介质可提高树脂流动速率、缩短充模时间; 边缘点浇注、树脂沿导流介质径向流动时流动前锋为抛物线且易产生白斑, 树脂沿导流介质纬向浇注时流动前锋呈直线且不易产生白斑; 中心点浇注只能缩短树脂沿导流介质径向流动的充模时间, 整体充模时间并未得到改善; 玻纤编织布为2层、4层、6层、8层时树脂流动速率相差无几。

关键词: 真空辅助成型; 玻纤编织布; 树脂流动行为; 导流介质

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)02-0065-04

Study of Resin Flow Behavior in Vari Molding Process of Glass Fiber Woven Reinforced Composite Materials

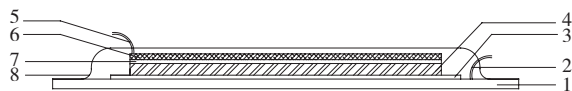
Zhao Chenhui, Zhang Guangcheng, Li Shasha

(School of Natural and Applied Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The resin flow behavior in vacuum assisted resin infusion molding process of glass fiber woven reinforced materials was studied through visualization flow experiments. The results showed that diversion nets could improve the flow rate of the resin; the placement method of the diversion nets had no influence on resin flow rate but affected the pattern of resin flow, unreasonable placement of the diversion nets could cause spots; central casting could improve the radial flow rate only; the resin flow rate had no change when changed the layers of the glass fiber woven at 2, 4, 6, 8.

Keywords: vacuum assisted resin infusion molding process; glass fiber woven; resin flow behavior; diversion nets

真空辅助成型工艺(VARI)是在RTM基础上发展起来的一种新工艺, 具有单面模具成本低、更适应大厚度大尺寸制件、可重复性使用等优点, 因而受到了很多行业如船舶工业、汽车工业、建筑业、风力发电行业等的青睐^[1-5]。VARI原理是在真空状态下排除纤维增强体中的气体, 通过树脂的流动、渗透, 实现纤维及其织物的浸渍, 并在室温或80℃以下进行固化成型为复合材料制品的工艺方法^[6]。VARI工艺装置原理如图1所示。



1—玻璃模具; 2—真空点源; 3—脱模布; 4—玻纤编织布;
5—树脂点源; 6—导流介质; 7—剥离布; 8—真空袋

图1 玻纤编织布增强材料 VARI 成型试验铺层示意图

由于国内对 VARI 工艺的深入系统研究较晚, 影响了其在国内的大规模推广与应用。研究 VARI 的关键在于对树脂流动行为的掌握与控制, 然而树脂在多孔介质中的流动是复杂的瞬态三维渗流过程, 其中具有力、热的耦合效应, 因此对树脂流动行

为的研究具有相当难度。笔者以玻纤编织布为增强材料, 对 VARI 工艺过程中导流介质、树脂点源布局、预成型体厚度等对树脂的流动行为影响规律进行了探索性研究, 旨在为现实生产提供一定的理论指导。

1 实验部分

1.1 材料和设备

主要材料为双酚 A 型环氧树脂、多胺类固化剂、玻纤编织布(240 mm × 240 mm × 0.5 mm);

辅助材料为 PET 薄膜、剥离布、导流介质、真空袋、密封胶带、聚四氟乙烯管;

实验仪器为真空泵。

1.2 实验方法

为了研究树脂在玻纤编织布中的流动规律, 笔者设计了4组对比实验以研究导流介质、树脂点源布局、玻纤编织布层数对树脂流动过程的影响。所

联系人: 张广成, 教授, 博导, 主要从事高性能泡沫塑料和复合材料研究

收稿日期: 2011-12-06

用实验模具为透明玻璃平板,可以观测和记录玻纤编织布上、下表面树脂流动情况。

2 结果与讨论

2.1 导流介质对树脂流动过程的影响

VARI 工艺利用真空负压吸注树脂,吸注压力 $<0.10\text{ MPa}$,树脂流动速率难以满足工艺成型要求,通常需要在预成型体表面铺放高渗透率导流介质来提高其流动速率、缩短充模时间,并可有效避免浇口处树脂的富集^[7]。

(1) 笔者研究了玻纤编织布为两层时有、无导流介质情况下树脂的流动过程。实验结果发现:①无导流介质时,树脂在 20 min、流动 80 mm 时便停止了流动,这可能是由于玻纤编织布本身及负压差造成玻璃布之间的压紧效应对树脂产生的阻力不断增大,而负压对树脂产生的动力不变的缘故,当树脂流动一定距离后,阻力总和与负压相等,树脂没有流动的动力源,因而流动停止^[8];②铺放导流介质时,树脂可在 8~9 min 内将模具注满。可见,导流介质可明显提高树脂流动速率、减少充模时间,这与文献^[7,9]研究结果相一致。

(2) 由于所用导流介质为经纬编织的网状格栅结构,其经纬两方向的编织各向异性,笔者进一步研究了导流介质的铺放方式对树脂流动过程的影响。为了便于研究,定义 Y 轴为导流介质的径向方向, X 轴为其纬向方向,如图 2 所示。实验所用玻纤编织布为两层,图 3 是树脂分别沿导流介质径向、纬向浇注时其流动前锋长度与时间(t)的关系曲线。

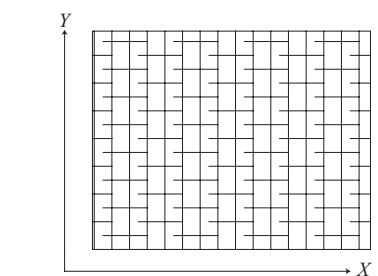
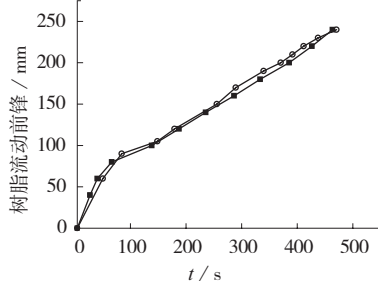


图2 导流介质径、纬向示意图



■—树脂沿导流介质径向流动; ○—树脂沿导流介质纬向流动

图3 树脂流动前锋与时间关系曲线

图3可以看出两条曲线近乎重合,这说明相同时刻树脂沿径向、纬向流过的距离几乎相同,即树脂流动速率相当,可见导流介质的铺放方式对树脂流动速率无显著影响。由图3还可发现,两条曲线的斜率开始较大,100 s左右变小,这表明树脂刚开始时流动速率较快,100 s左右时变慢并趋于平稳。这可能是由于玻纤编织布对树脂的阻力和外加压差之间的关系决定的,树脂流动到一定距离后阻力变大,因而树脂流动变慢。

图4和图5分别是树脂沿导流介质纬向、径向边缘浇注时不同时刻流动前锋示意图。

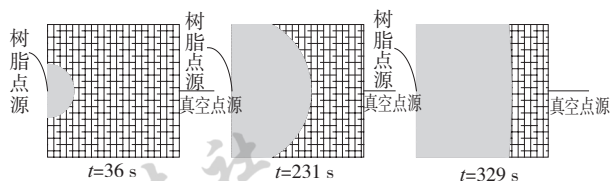


图4 树脂沿导流介质纬向边缘浇注时不同时刻流动前锋示意图

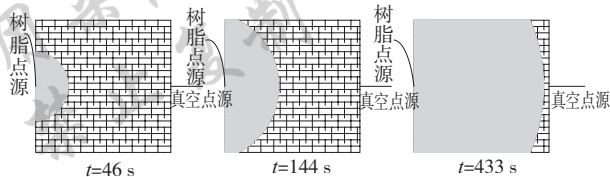


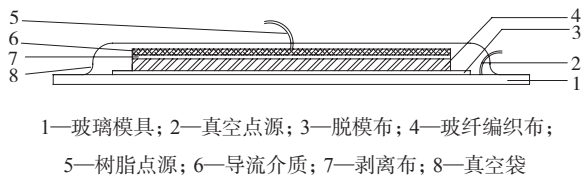
图5 树脂沿导流介质径向边缘浇注时不同时刻流动前锋示意图

尽管导流介质的铺放方式对树脂流动速率影响不明显,但由图4和图5可发现,导流介质的铺放方式对树脂的流动方式有一定影响。树脂沿导流介质纬向浇注时树脂的流动前沿刚开始时呈抛物线,经过一段时间后流动前沿近似直线。而树脂沿导流介质径向浇注时树脂的流动前沿始终呈抛物线形,当树脂前沿到达真空管一端的边缘时,树脂被抽入真空管中,玻纤编织布前面的边角很难注满,因而产生白斑。

2.2 注射方式对树脂流动过程的影响

树脂的注射方式决定着树脂的流动模式,从而影响树脂充模流动时间^[10]。笔者在前面的研究基础上,研究了将树脂点源置于玻纤编织布预成型体几何中心,其示意图如图6所示,在其他实验条件不变条件下,树脂的充模流动过程。以期通过缩短树脂在玻纤编织布中的流动距离来缩短树脂充模时间。

由于导流介质具有各向异性,树脂流动前沿在模腔中呈椭圆形。图7、图8给出了树脂沿导流介质径向、纬向流动时不同时刻树脂在模腔中的流动前沿。



1—玻璃模具; 2—真空点源; 3—脱模布; 4—玻纤编织布;
5—树脂点源; 6—导流介质; 7—剥离布; 8—真空袋

图6 中心浇注玻纤编织布增强材料 VARI 成型示意图

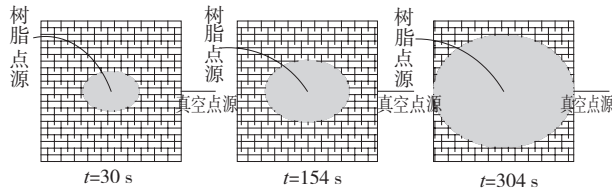


图7 树脂沿导流介质径向中心浇注时不同时刻流动前锋示意图

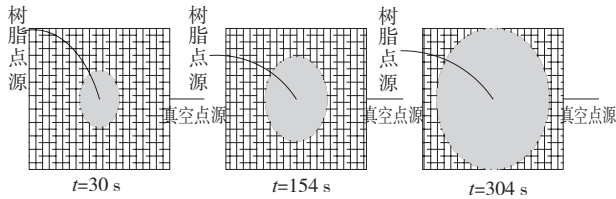


图8 树脂沿导流介质纬向中心浇注时不同时刻流动前锋示意图

实验中,笔者对比了边缘浇注和中心浇注树脂流动前锋到达边缘的时间,结果见表1。由表1数据发现,中心浇注时树脂沿径向的流动前锋要先于边缘浇注到达模具边缘,这说明随着径向流动距离的缩短树脂径向流动时间有所缩短;中心浇注树脂沿纬向流动前锋的到达时间为674 s,而边缘浇注树脂沿纬向流动到达模具边缘需要的时间仅为98 s,说明树脂的总体充模时间没有得到改善,反而有所增长,这可能是由于树脂边缘浇注时产生边缘效应,即树脂沿玻纤编织布边缘流动阻力小,树脂沿玻纤编织布边缘即纬向流动较快,因此边缘浇注的纬向充模时间较短。

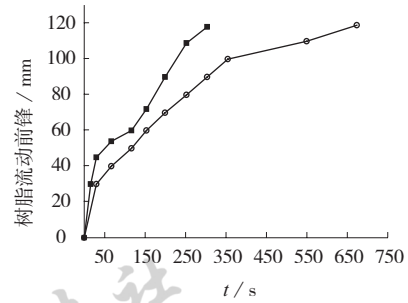
表1 树脂点源对树脂流动时间的影响

树脂点源位置	树脂沿导流介质径向流动前锋到达边缘时间/s	树脂沿导流介质纬向流动前锋到达边缘时间/s
边缘点浇注	466	98
中心点浇注	304	674

笔者还对比了中心浇注时树脂沿径向、纬向的流动前锋及流动速率,结果如图9、图10所示。图9给出的是树脂分别沿经、纬向流动的前锋长度与时间关系曲线。由图9可发现,相同时刻树脂沿径向的前锋流动距离大于沿纬向的前锋流动距离,一方面可能是由于沿径向的真空抽力所致,另一方面,径向网格对树脂起到导流作用而纬向网格起到阻力作用。图10给出的是树脂沿经、纬方向流动的速率随时间变化曲线。从图10可发现,树脂沿径向流动速率要高于纬向速率,且流动速率随时间不断下降,最

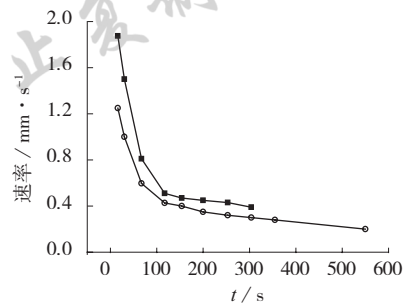
后趋于平稳。这可能是树脂受到的阻力和动力两方面影响的结果,前面已有解释。

另外实验过程中还发现,由于树脂沿导流介质径向的流动速率较快,树脂前沿到达近真空端时,树脂就被抽入真空中,此时导流介质纬向树脂流动变慢,容易产生干点。为了避免干点产生,应合理布局真空点源位置,采用多个真空点源时尽可能对称布置。



■—树脂沿导流介质径向流动; ○—树脂沿导流介质纬向流动

图9 树脂流动前锋与时间关系曲线

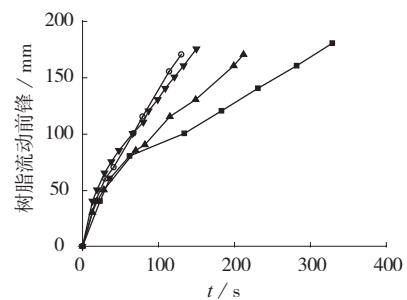


■—树脂沿导流介质径向流动; ○—树脂沿导流介质纬向流动

图10 树脂流动速率与时间关系曲线

2.3 玻纤编织布层数对树脂流动过程的影响

实验表明,不同的玻纤编织布层数(20,30,40,50,60层)对充模时间及树脂流动模式有显著影响^[11],笔者研究了低层数玻纤编织布(2,4,6,8层)情况下预成型体厚度对树脂流动模式及充模时间的影响。实验结果如图11、图12所示,可视化充模过程如图13所示。



■—2层玻纤编织布; ○—4层玻纤编织布;
▲—6层玻纤编织布; ▼—8层玻纤编织布

图11 树脂流动前锋与时间关系曲线

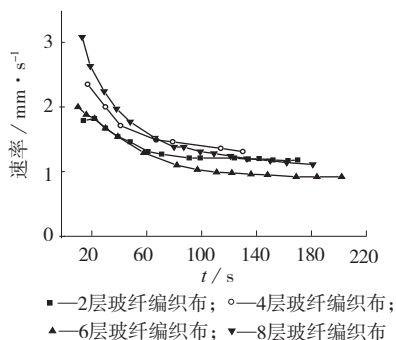


图12 树脂流动速率与时间关系曲线

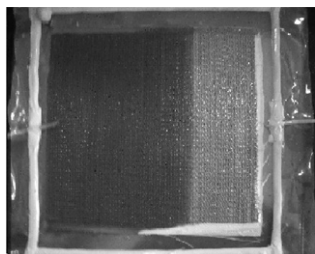


图13 多层玻纤维布的可视化树脂充模过程

由图 11 可以看出,不同层数玻纤维布的树脂流动前锋随时间变化曲线交错在一起,并无明显变化规律。同样,树脂的流动速率也未表现出明显变化规律(图 12),这表明玻纤维布在低层数下变化时对树脂流动速率没有显著影响。

3 结论

(1) VARI 工艺中,导流介质的存在可明显改善充模过程、缩短充模时间;导流介质的铺放方式对树脂流动速率影响不大但可改变树脂流动模式,合理的铺放方式可减少白斑的产生。

(2) 真空点源布局不变,树脂点源中心浇注与边缘浇注相比可缩短树脂沿导流介质径向流动的充

模时间,而沿纬向的充模时间并未得到改善。

(3) 玻纤维布层数在低层数下(即 2, 4, 6, 8)变化时,其厚度效应对树脂充模时间及流动模式影响可忽略。

参考文献

- [1] Bender D, Schuster J, Heider D. Flow rate control during vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM) processing [J]. Composites Science and Technology, 2006, 66 (13): 2265-2271.
- [2] Zhu Yingdan, Wang Jihui, Yang Zui, et al. Vacuum Infusion Molding Process Part I: VIMP Based on a High-Permeable Medium [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2003, 18 (3): 72-75.
- [3] Modi D, Johnson M, Long A, et al. Analysis of pressure profile and flow progression in the vacuum infusion process [J]. Composites Science and Technology, 2009, 69 (9): 1458-1464.
- [4] Bayldon J M, Daniel I M. Flow modeling of the VARTM process including progressive saturation effects [J]. Composites: Part A, Applied Science and Manufacturing, 2009, 40 (8): 1044-1052.
- [5] 吴忠友,孙祖莉,李年. FRP 真空辅助成型工艺实验研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2010 (4): 62-64.
- [6] 杨金水,肖加余,曾竟成,等. 真空导入模塑工艺树脂流动行为研究进展[J]. 宇航材料工艺, 2010 (1): 5-8.
- [7] 陶积柏,王绍凯,李敏,等. 三维夹芯层连织物复合材料真空辅助成型工艺影响因素[J]. 复合材料学报, 2010, 27 (4): 81-86.
- [8] 刘洪政,陈南梁,刘晓明. 夹芯材料在 VARTM 工艺中的使用研究[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2008, 34 (2): 159-163.
- [9] 杨金水,肖加余,曾竟成,等. 导流介质对真空导入模塑工艺数值流动行为的影响[J]. 复合材料学报, 2010, 27 (4): 1-8.
- [10] 杨金水,肖加余,曾竟成,等. 真空导入模塑工艺树脂流动规律研究[J]. 宇航材料工艺, 2007, 37 (5): 22-26.
- [11] 孙静,段跃新,肇研,等. 真空渗透成型工艺制件厚度变化规律[J]. 复合材料学报, 2010, 27 (3): 86-91.

适用于聚烯烃和苯乙烯聚合物的新型通用阻燃剂

十溴二苯醚是一种高效、通用的阻燃剂,被广泛应用于电子、电线和电缆、保温、纺织、交通及其它领域。但由于欧洲和美国对其使用施加种种限制,再加上美国主要制造商主动停止生产和销售,十溴二苯醚正迅速被淘汰。

Emerald1000 是科聚亚公司旗下的大湖解决方案事业部新开发的一种溴化聚合型阻燃剂,已被示范可有效应用于多种树脂如高抗冲聚苯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、聚丙烯和聚乙烯。

这种新型阻燃剂是十溴二苯醚的绝佳替代品,大湖解决方案的研究结果显示,其阻燃效率和性能均优越于市面上的其它阻燃剂。与其它潜在的十溴二苯醚替代品相比,Emerald 1000 中的溴含量较高,因而阻燃效率更强。这一点非常重要,因为阻燃添加剂的效率与其溴含量成正比。

除更环保外, Emerald 1000 还是一种“即用型”替代品。

该产品是一种自由流动的粉末,溴含量高、热稳定性高,且与多种塑料和聚合物分散体如涂料和粘合剂等均有良好的相容性。此外,它在替代大部分十溴二苯醚的应用当中仅需稍微或根本无需重新调节配方或变更工艺,具有很高的性价比。

这一专门开发的新型阻燃剂与许多的聚合物体系具有更好的相容性。十溴二苯醚以颗粒状态分散到聚合物时不完全熔融软化,而 Emerald 1000 在大多数苯乙烯和烯烃树脂的典型加工温度下的熔融共混过程中会部分熔融软化。这一特性使其具有更好的相容性,也改善了材料的物理性能。

由于在研发 Emerald 1000 时就刻意在改善塑料配方的物理性能和熔体粘度方面与十溴二苯醚要取得相同的效果,因此对于希望在开发新配方时亦同时实现优异的抗冲击性能、拉伸性能、热变形温度和熔体流动性的共混生产商、制造商来说, Emerald 1000 是更理想的选择。(工程塑料网)