

复合材料的真空辅助成型工艺研究

张锐 郑威 袁秀梅 高泉喜 王昭亮

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 研究了导流介质、脱模介质等工艺要素对真空辅助成型工艺的影响。结果表明,高渗透率的导流介质和脱模介质均能有效提高树脂的充模速度;所研制的新型导流介质能够有效控制树脂的流动状态。采用真空辅助成型工艺成型的复合材料的性能与模压工艺成型的复合材料的性能相当。

关键词 真空辅助成型工艺 导流介质 复合材料 不饱和聚酯 玻璃纤维织物

真空辅助成型(VARI)工艺是一种新型的大型复合材料制件的低成本液体模塑成型技术,它主要利用真空负压排出纤维中的气体及实现树脂对纤维的浸渍。该工艺仅需要一个单面刚性模具,不需要热压罐等大型成型设备,极大地节省了模具及设备的投资。

国外对这种低成本的复合材料成型工艺已进行了十多年的研究。目前该工艺已经在海军舰艇、军用飞机的复合材料制件上获得了应用。美国 San-down 级扫雷艇整个舰艇的所有上层建筑和部分内部结构均为 VARI 工艺成型制件。美国海军水面作战中心在对 VARI 工艺成型的复合材料的力学性能做出分析后得出结论:VARI 工艺将是制造未来战舰主要壳体结构的重要成型手段。Hardcore 公司利用 VARI 工艺制备了一面积为 186 m^2 、厚度为 150 mm 的玻璃纤维增强船舶结构件^[1-3]。

国内对 VARI 工艺进行研究的起步较晚,且开展此项研究的单位很少,对该工艺缺乏系统深入的研究,严重制约了 VARI 工艺的应用。笔者对该工艺进行了探索性研究,目前已利用 VARI 工艺成功制备了尺寸为 $2000\text{ mm} \times 1700\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的复合材料制件,随着对 VARI 工艺的深入研究,该低成本制造技术可望在大型复合材料制件上得到广泛的应用,从而极大地推动复合材料的低成本化。

1 实验部分

1.1 原材料

乙烯基酯树脂: Atlac580, 金陵迪斯曼公司;

玻纤织物: EKB400, 常州宏发土工织物有限公司;

环烷酸钴: 421-1, 上海长风化工厂;

过氧化甲乙酮: 市售。

1.2 设备与仪器

数显粘度计: NDJ-95 型, 上海精密仪器有限公司;

司;

真空泵: ZX-8 型, 淄博真空设备厂有限公司;
材料试验机: 1196 型, 美国 Instron 公司。

1.3 制备工艺流程

将玻纤织物按设计方案进行铺层制得预制件,并在预制件表面依次铺放脱模介质、导流介质,然后用预先制好的真空袋对上述系统进行密封,抽真空,注胶,加热固化。VARI 工艺布置示意图见图 1。

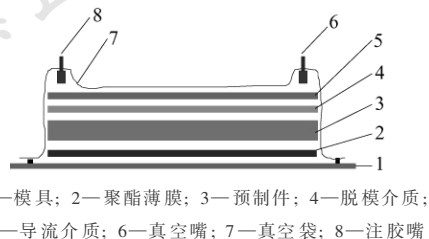


图1 VARI工艺布置示意图

1.4 性能测试

拉伸强度按 GB/T 3354-1999 测试;

弯曲强度按 GB/T 3356-1999 测试。

2 结果与讨论

2.1 树脂体系的粘度特性

VARI 工艺对树脂体系的要求是: ①室温或工艺温度下应具有较低的粘度(小于 $400\text{ mPa} \cdot \text{s}$); ②具有合适的适用期; ③对增强材料具有良好的浸润性; ④较低的反应放热峰及较短的固化周期等。VARI 工艺中树脂对纤维的浸渍为一步浸渍过程,合适的粘度能够保证充模的顺利进行及树脂对纤维的浸润质量,树脂体系的粘度特性是影响 VARI 工艺成败的重要因素。

热固性树脂体系的粘度受温度和固化度变化的综合影响。图 2 给出了乙烯基酯树脂体系(由 100 份 Atlac580、1 份环烷酸钴、1 份过氧化甲乙酮构成)

的粘度-温度关系曲线。由图 2 可以看出,在一定的温度范围内,树脂体系的粘度随温度的升高而呈降低趋势,当达到一定的温度时,树脂体系开始加速反应,粘度随之大幅度提高,出现暴聚现象。图 3 是相同树脂体系在不同温度下的粘度-时间关系曲线。由图 3 可以看出,在一定的时间范围内,树脂体系的粘度基本保持稳定,当树脂体系的自由聚合反应加速进行时,粘度迅速上升,温度越高,树脂的适用期越短。由图 2、图 3 可以看出,32℃ 时树脂体系粘度约为 230 mPa·s,粘度基本保持稳定的时间约为 15 min,能够满足 VARI 工艺的要求。

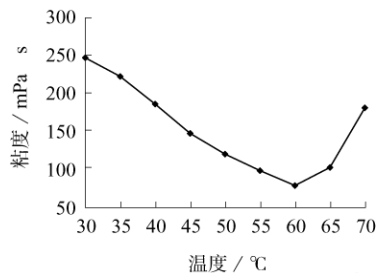


图 2 树脂体系的粘度-温度关系曲线

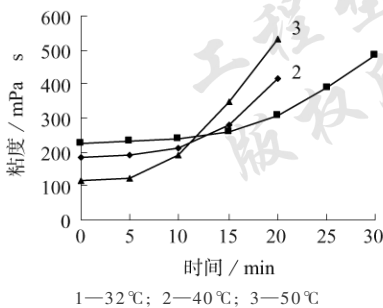


图 3 树脂体系的粘度-时间关系曲线

2.2 玻纤维织物的压实特性

玻纤维织物在真空(表压 -0.1 MPa)下的压实特性不仅影响树脂对玻纤的浸渍速率,而且也影响制品中玻纤的体积分数。玻纤维织物的压实特性依不同编织形式而不尽相同,制品的玻纤体积分数基本上在 40% ~60% 范围内变化。图 4 示出 EKB400 玻纤维织物的压实特性。由图 4 可以看出,压实厚度与玻

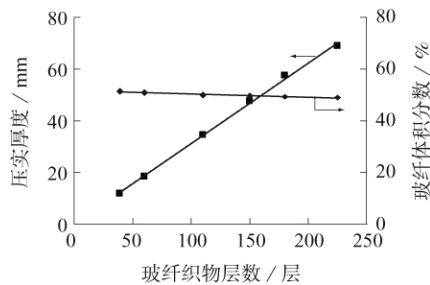


图 4 EKB400 玻纤维织物的压实特性

纤维物层数基本呈线性关系,玻纤体积分数随层数的增加略有降低,但基本稳定在 50% 左右。

2.3 导流介质

导流介质铺设在玻纤维织物预制件上面,其渗透率要远高于脱模介质及玻纤维织物预制件的渗透率,树脂在导流介质内进行快速分布,同时树脂从导流介质内渗出,自上而下地缓慢浸渍玻纤维织物预制件。

导流介质的渗透率决定树脂的充模时间,而玻纤增强材料的渗透率不起决定作用,高渗透率的导流介质可以提高充模速度^[4]。图 5 示出树脂在不同孔径导流介质中的流动特性。由图 5 可以看出,不加导流介质时,树脂在玻纤维织物预制件中的流动非常困难,加入导流介质明显提高了树脂的流动速度;树脂的流动距离与流动时间能很好地符合幂函数规律;对较大孔径的导流介质而言,由于真空袋薄膜与预制件的网路空间较大,渗透率较高,因此其对树脂的分散导流效果要好于较小孔径的导流介质。基于导流介质渗透率的可设计性,笔者研制了一种新型导流介质,它利用矢量控制原理,能够对树脂的流动状态进行有效控制,避免了制件中气泡、干斑等缺陷的产生。图 6 给出了新型导流介质与普通导流介质的导流效果比较。由图 6 可知,普通导流介质难以实现对树脂流动状态的控制,而采用新型导流介质可以实现树脂的预期流动。

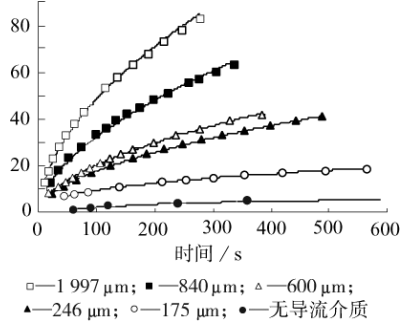


图 5 树脂在不同孔径导流介质中的流动特性

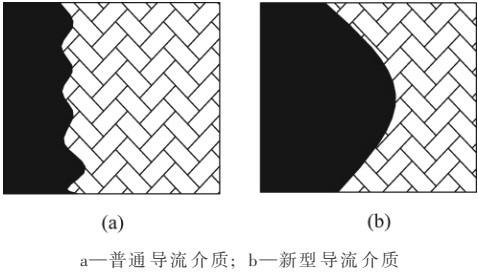


图 6 普通导流介质与新型导流介质的导流效果比较

2.4 脱模介质

将脱模介质铺放在预制件上表面,使预制件与

导流介质隔离,便于复合材料固化后能容易地脱模。它对工艺的影响是双方面的:一方面降低了树脂对玻纤预制件厚度方向的浸渍速度;另一方面避免了因导流介质与预制件表面的紧贴效应而带来的树脂导流效果的下降。笔者通过比较树脂完全浸渍复合材料一定距离的耗时考察了脱模介质的主导作用。试验表明,采用脱模介质时,树脂完全浸渍复合材料的距离为 300 mm 时耗时 10 min;不采用脱模介质时则耗时 15 min,这说明采用适当的脱模介质有利于工艺周期的缩短。

2.5 树脂流动倾角

图 7、表 1 示出树脂流动倾角(树脂流动方向与水平方向之间的夹角)与其流动速度之间的关系。由表 1 可以看出,树脂的流动倾角越大,其流动速度越低,说明树脂的自重对 VARI 工艺过程产生影响。经对树脂的竖直(流动倾角为 90°)爬升能力研究表明,采用 VARI 工艺可以制备高度为 2 000 mm 以上的大型制品,且制品的材质、厚度均匀。

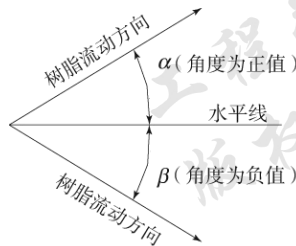


图 7 树脂流动倾角示意图

2.6 复合材料的力学性能

表 2 列出不同工艺制备的复合材料力学性能比较。从表 2 可以看出,采用 VARI 工艺成型的复合

表 1 树脂流动倾角与其流动速度之间的关系

树脂流动倾角 / (°)	树脂流动速度 / mm · s ⁻¹
0	6.6
90	4.7
-90	7.6

表 2 不同工艺制备的复合材料的力学性能

编号	成型工艺	拉伸强度 / MPa	弯曲强度 / MPa
1 [#]	模压工艺	1.0	1.3
2 [#]	VARI 工艺	1.1	1.1

材料的力学性能与采用模压工艺成型的复合材料的性能基本相同。

3 结论

(1) 通过对树脂体系粘度特性的分析,可以得到适于 VARI 工艺的树脂粘度、树脂粘度 - 温度曲线及合适的树脂适用期。

(2) 高渗透率的导流介质能有效提高树脂的流动速度,从而提高充模速度。

(3) 研制的新型导流介质能有效控制树脂的流动状态。

(4) 采用脱模介质能够缩短充模时间。

(5) 采用 VARI 工艺制备的复合材料的力学性能与采用模压工艺制备的相当。

参考文献

1 赵渠森,赵攀峰.真空辅助成型工艺研究.纤维复合材料,2002(1):42
2 郭泓,陈淳,高国强.SCRIMP 成型工艺研究.玻璃钢/复合材料,2002(6):36
3 邓京兰,祝颖丹,王继辉.SCRIMP 成型工艺的研究.玻璃钢/复合材料,2001(5):40
4 Sun X D, Li S J, Lee L J. Molding filling analysis in vacuum assistnt resin transfer molding. Polymer Composites, 1998, 19(6): 807

RESEARCH OF THE VACUUM ASSISTANT RESIN INFUSED

Zhang Rui, Zheng Wei, Yuan Xiumei, Gao quanxi, Wang Zhaoliang

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The effects of the factors such as permeable medium, peel ply on vacuum assistant resin infused (VARI) were studied. The results showed that the resin filling speed was enhanced by adding both high permeability medium and peel ply. A new type permeable midvum which could controll flow status of the resin freely was prepared. The properties of the composite made by VARI corresponded to that made by mould pressing.

KEYWORDS vacuum assistant resin infused, permeable medium, composite, unsaturated polyester, glass cloth

聚碳酸酯电水壶颇受消费者青睐

美国 GE 公司的 LEXAN(力显)EXL 树脂是在标准 LEX-AN 树脂的基础上开发的新型树脂,兼有聚碳酸酯(PC)和有机硅树脂的最佳特性,具有极高的冲击性能和低温延展性,大大提升了当今市场上 PC 共混材料的质量。

美国 BSH 集团选用 GE 公司的 LEXAN 树脂制作了电水

壶/电茶壶获得成功。据 BSH 集团称:“在考虑电水壶的使用要求时,要求所选材料不仅必须在该电器的寿命期间经得起 1 万多次的使用,并且仍要光亮如新。……经过模拟多年使用的苛刻测试,GE 公司的 LEXAN 树脂显然更胜一筹。它不仅提供了所需的耐用性,而且具有卓越的美观性,使产品非常受消费者欢迎。” (侯健)