

RTM 成型工艺及其派生工艺

孙 赛 刘木金 王 海 崔天放

(沈阳化工大学应用化学学院,沈阳 110142)

文 摘 简述了传统 RTM 工艺的成型原理和树脂工艺参数,详细介绍了两种常见的 RTM 派生工艺:真空导入模塑工艺、柔性辅助 RTM 工艺。展望了通过降低树脂黏度和成型工艺改进的两种方法,使 RTM 工艺更广泛的应用于航空航天等领域。

关键词 树脂传递模塑工艺(RTM),原理,派生工艺

RTM Molding Process and Its Derive Technology

Sun Sai Liu Mujin Wang Hai Cui Tianfang

(College of Applied Chemistry, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142)

Abstract This article presents to the readers a brief description of the principle of RTM and physical parameters of advanced composite. Then two common derived RTM process: vacuum infusion molding process and flexible RTM are discussed in detail. And, an outlook on two methods which are going to widen the use of RTM in aerospace field: lowering the viscosity of the resin and improving this technology, also put forward.

Key words Resin transfer molding(RTM), Principles, Derive technology

0 引言

树脂传递模塑工艺(RTM)具有高效、低成本、制件质量好、尺寸精度高、受环境影响小等优点,应用于体积大、结构复杂、强度高的复合材料制件的成型,该工艺已经成为近几年航空航天材料加工领域研究最为活跃的方向之一。经过近几十年的发展,派生出了真空导入模塑工艺(VIMP)、柔性辅助 RTM(Flexible RTM)和共注射 RTM(Co-injection RTM, CIRTM)等技术^[1-5]。这些技术在保留了传统的树脂传递模塑工艺可浸渍成型带有夹芯、加筋、预埋件的大型构件等优势的基础上,具有生产构件范围广、产品质量稳定、易与其他编织工艺相结合和低成本的生产优势。VIMP、柔性辅助 RTM 作为近几年新兴的 RTM 派生工艺,受到了人们格外的关注。本文对 RTM 的成型原理进行简述,对两种新型 RTM 派生工艺做介绍,展望 RTM 工艺的发展方向。

1 RTM 成型工艺介绍

1.1 RTM 成型工艺的基本原理

RTM 成型工艺是指在预先制作符合特定工艺尺寸的模腔中,铺放好按设计要求计算得到的纤维增强材料预成型体^[6],在一定的压力范围内采用注射设备将专用的树脂体系注入闭合模腔内,通过树脂与增强体的浸润,固化成型为所需高性能复合材料的一种

成型技术。

1.2 RTM 成型工艺对树脂的要求

(1)RTM 工艺专用树脂在常温下为液体或固体,可在室温下稳定的存在,贮存时不出现树脂化学成分和性质的改变。

(2)树脂体系在工艺温度下有适当的黏度(工作范围内约为 0.2-0.8 Pa·s)^[7],黏度过高会导致树脂流动和纤维/树脂浸润困难;过低会导致树脂不稳定流动与扩散,形成孔隙。

(3)足够长的凝胶时间以满足树脂流动充模、纤维浸润的要求。同时,树脂的低黏度保持时间应大于 40 min,形成 RTM 工艺树脂所需的低黏度平台特性^[8]。

(4)树脂在注射及固化过程中无挥发产物的生成,同时树脂对增强材料应具有良好的浸润性和粘附性。

1.3 RTM 成型工艺的优点

RTM 成型工艺与传统成型工艺相比,最大的优点就是以一步浸润代替了传统成型工艺两步或多步浸润的过程,减少了预浸料制备、铺层、真空袋及在热压罐中固化等工序^[9],从而大大的降低了成型时间和成型的成本,成为降低先进复合材料加工成本的重要方法。

2 两种新型 RTM 派生工艺

2.1 真空导入模塑工艺

VIMP 是在 RTM 工艺上发展起来的一种新型的大

收稿日期:2010-06-28

作者简介:孙赛,1989 年出生,本科,主要从事功能高分子材料及复合材料研究。E-mail: sunsai890421@yahoo. cn

尺寸复合材料制件的低成本液体模塑成型技术^[10],其工艺原理是在单面刚性模具上用柔性真空袋膜包裹、密封纤维增强材料,利用真空负压排除模腔中的气体,并通过真空负压驱动树脂流动而实现树脂对纤维及其织物浸渍的一种工艺^[11-12],如图1所示。

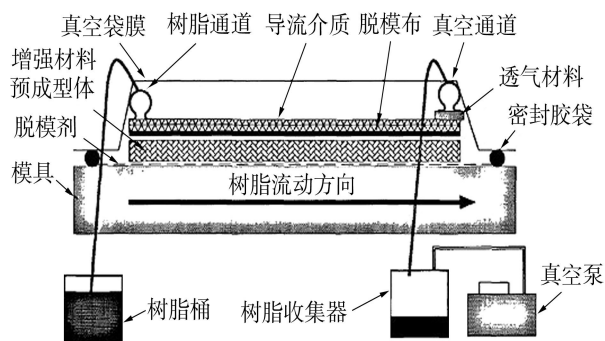


图1 VIMP封装原理示意图

Fig. 1 Working principle diagram of VIMP molding process

VIMP 又称树脂浸渍模塑法 (SCRIMP), 近几年已在大型风力发电叶片、飞机机舱罩、船舶制造等领域得到了广泛的应用^[13]。其基本的加工流程步骤如下:设计和加工单面的刚性模具;铺设增强材料和辅助材料;使用真空袋膜密封;抽真空并检查气密性;吸住树脂;固化成型;脱模后处理^[14]。

VIMP 的成型过程也可分为树脂的充模流动、热传递和固化反应三大步骤。充模流动作为工艺过程的第一步骤直接影响加工产品性能,因此成为该工艺的主要研究内容。

导流介质的应用,使得 VIMP 工艺中树脂的充模流动模式与 RTM 工艺中明显不同。近年来人们采用了诸如贴体坐标/有限差分法、有限元/控制体积单元法、纯有限元法和边界单元法,对充模过程中各项工艺参数进行了预测^[10]。尤其是依据渗流模型,利用 Darcy 定律和渗流量计算方程建立的有限元数值模拟方程^[15],应用于模拟预测其流动行为,并取得了不错的效果,这些都为优化工艺,降低工艺实验成本及保证产品质量提供了有力的支持。

与传统的 RTM 工艺相比,VIMP 工艺的优点如下:(1)对模具的要求大大降低。RTM 工艺则需要阴阳双面模具,VIMP 用模具只需要单面的刚性模具,模具制造成本大大降低^[16];(2)工艺操作简单,产品的尺寸和几何形状不受限制、力学性能优异;(3) VIMP 工艺是在真空负压下吸注树脂,克服了传统 RTM 工艺容易产生树脂孔隙的问题^[17]。

VIMP 工艺树脂目前在不饱和聚酯树脂、乙烯基树脂、环氧树脂、酚醛树脂、双马来酰亚胺树脂和聚碳酸酯树脂上得到了广泛的应用。为研究与预测这些树脂在 VIMP 工艺窗口时的各项物理参数而建立的各种模型不断完善,但是如何在实践中能够得到吻合的数据,以及对于树脂流动过程中的行为监控(尤其是

过流控制),还有待于进一步研究。随着压力传感检测^[18]、微波传感检测^[19]、光纤传感检测^[20]等先进手段的使用,VIMP 工艺在未来势必会得到更广泛的应用。

2.2 柔性辅助 RTM 工艺

柔性辅助 RTM (Flexible RTM) 工艺是利用制造空心结构,通过柔性模对预成型体的压实作用来加工先进复合材料的一种成型技术。根据柔性模膨胀的方式,又分为气囊辅助 RTM 工艺和热膨胀软模辅助 RTM 工艺。与传统的 RTM 工艺相比,此法解决了内腔结构较复杂而无法脱模的问题,同时制件纤维体积含量得到提高^[21],产品性能得到改善。该工艺在成型复杂复合材料构件中具有独特优势。气囊辅助 RTM 工艺是目前国外研究较多的一种先进工艺,它是通过将预成型体安放在密封气囊,通过气囊充压压实预成型体,使其附着于模腔内表面而成型。U. Lehmann 等人利用此法曾制成了空心构件^[22]。如图2所示。

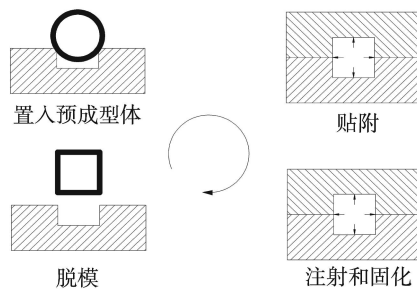


图2 柔性辅助 RTM 工作原理

Fig. 2 Working principle diagram of flexible RTM molding process

从图2中可以看出构件外形的形成方式。W. Michaeli 等人也利用此法制成了特殊构件^[23],其成型原理与 U. Lehmann 等人的合成原理相似。N. Bernet 等人^[24]对气囊辅助 RTM 工艺在复杂形状构件中的应用也做了相应的阐述。目前,在气囊辅助 RTM 工艺中存在的问题是,由于气囊较薄膨胀不均匀,有可能使复合材料构件的筋条位置偏移,从而影响其力学性能。

热膨胀软模辅助 RTM 工艺,则是将预成型体安放在硅橡胶等软质材料上后,置入刚性阴模内,利用软质材料和阴模材料热膨胀系数的不同,造成的膨胀体积差异对预成型体进行挤压成型。与传统的复合材料相比,该工艺无需外加的压力来源,尤其适合结构复杂腔体构件的整体成型。国防科技大学在“十一五”期间开展的“软模辅助 RTM 成型工艺”制备大型复合材料主承力结构的研究中,对其在大型构件成型的具体应用开展了细致的研究并取得了阶段性成果^[25]。目前,如何克服在应用中软模压力控制不稳的问题,是国内外关于该工艺的研究热点。

我国利用柔性辅助 RTM 工艺制备的高精度天线测量杆^[26-27]和发动机燃烧室壳体内衬^[28],效果较好。利用此工艺成功成型了复合材料背架构件^[29]

和内部结构复杂的复合材料舱段构件^[30]。静载性能实验表明舱段整体力学性能优异,可满足航天主承力构件的使用要求。

3 结语

RTM 工艺及其派生工艺经过近几十年的发展和完善,已经成为低成本加工技术中主要发展对象。如何将该技术更为广泛的应用于航空航天等领域,成为当前人们研究最为热点的课题。降低树脂黏度和改进成型工艺是今后的研究方向。

在不能很好的降低部分优良复合基体材料黏度的情况下,对现有成型技术进行适当改进以适合树脂高黏度,也成为人们解决 RTM 及其派生工艺应用瓶颈的有效方法之一。尝试在树脂注射过程初期采取低压力注射,使得高黏度树脂得到完全的浸润,而当树脂完全浸润时采用高压排除模具内残余空气的方法来加工高黏度的树脂材料,也不失为人们探索解决 RTM 及其派生工艺应用瓶颈的一个方向。

参考文献

[1] 张彦飞,刘亚青,等. 复合材料液体模塑成型技术(LCM)的研究进展[J]. 塑料,2005(2):31

[2] 董永祺. 我国树脂复合材料成型工艺的发展方向[J]. 纤维复合材料,2003(2):32

[3] 卢峰. 国外 RTM 发展状况[J]. 玻璃钢/复合材料,1993(5):46

[4] 王东,等. 树脂模熔渗工艺(RFI)的研究现状[J]. 纤维复合材料,2000(3):11

[5] 张宗科. RTM 工艺用预成体技术研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2001:20

[6] 张明龙,尹昌平,梁济丰,等. 复合材料柔性 RTM 工艺的研究进展[J]. 材料导报,2007,21(5A):244-246

[7] 孟季茹,赵磊,梁国正. 先进复合材料低成本制造技术的研究进展[J]. 航空工程与维修,2001(5):15-17

[8] 段跃新,张宗科,等. BMI 树脂化学流变模型及 RTM 工艺窗口预报研究[J]. 复合材料学报,2001,18(3):31

[9] Halley P J, Mackay M E. Chemorheology of thermoset-an overview[J]. Polymer Engineering and Science,1996,36(5):593-608

[10] 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,2010,40(1):5-8

[11] 杨金水,肖加余,曾竟成,等. 真空导入模塑工艺树脂流动规律的研究[J]. 宇航材料工艺,2007,37(5):22-26

[12] Summerscales J, Searle T J. Low pressure(Vacuum infusion) techniques for moulding large composite structures[J]. Journal of Materials Design and Applications,2005,17:45-58

[13] Brouwer W D, van Hept ECFC, Labordus M. Vacuum injection moulding for large structural application[J]. Composites

Part A,2003,34:551-558

[14] 杨金水. 真空导入模塑工艺树脂流动行为研究[D]. 长沙:国防科技大学,2007

[15] Sun xiudong, Li Shoujie, Lee L J. Molding filling analysis in vacuum assisted resin transfer molding[J]. Polymer Composites,1998,19(6):807-817

[16] Vaidya U K, Abraham A, Bhide S. Affordable processing of thick section and integral multi-function formulation[J]. Composites, Part A, 2005:1645-1656

[17] 许亚洪,秦明,李小刚,等. 6421 双马来酰亚胺树脂的反应流变特性及树脂传递模塑成型工艺研究[J]. 材料工程,2002(12):39-40,35

[18] Lynch K, Hubert P, Poursartip A. Use of a simple inexpensive pressure sensor to measure hydrostatic resin pressure during processing of composite laminates[J]. Polymer Composites, 1999,20(4):581-593

[19] Vaidya U, Jadhav N, Hosur M, et al. Assessment of flow and cure monitoring using direct current and alternating current sensing in vacuum assisted resin transfer molding[J]. Smart Material Structure,2000,9(6):727-736

[20] Bernstein J, Wagner J. Fiber optic sensors for use in monitoring flow front in vacuum resin transfer molding process[J]. Rev. Sci. Instrum.,1997,68(5):2156-2157

[21] 彭超义,曾竟成,肖加余,等. 基于柔性模辅助 RTM 技术的整体推力结构的分析和设计[J]. 玻璃钢/复合材料,2006(3):28-30

[22] Lehmann U, et al. Cores lead to an automated production of hollow composite parts in resin transfer modeling[J]. Composites, Part A, 1998, (29):803

[23] Michaeli W, Dyckhoff J, Jehrke M. Produced with a combined RTM and bladder moulding technology[J]. New and Alternative Materials for the transportation industries,1994,(12):363

[24] Bernet N, et al. Commingled yarn composites for rapid processing of complex shapes[J]. Composites, Part A, 2001(32):1613

[25] 肖加余,曾竟成,江大志. 航天主结构复合材料及其软模辅助 RTM 成型工艺[J]. 航天返回与遥感,2007,28(2):49-52,64

[26] 鞠金山. 碳/环氧复合材料在雷达天线测量杆上的应用[J]. 电讯技术,1998(2):45

[27] 鞠金山. 轻质复合材料软膜成型工艺技术及其应用[J]. 现代电子,1997(4):62

[28] 苑玲等. 软模热膨胀法成型发动机燃烧室壳体贴壁内衬[J]. 宇航材料工艺,1993,23(2):38

[29] 靳武刚. 热膨胀硅橡胶在复合材料成型工艺中的应用[J]. 塑料科技,2003(2):4

[30] 尹昌平. 软模辅助 RTM 制备复杂构件技术研究[D]. 长沙:国防科技大学,2004

(编辑 李洪泉)