

三维编织旋转模塑新工艺的设计*

吴晓青 李嘉禄 宋春华

(天津工业大学复合材料研究所,天津 300160)

摘要 开发设计了三维编织旋转模塑新工艺,以三维编织圆管为增强材料、TDE-85 环氧树脂为基体,对其成型工艺进行了设计,初步讨论了模具结构、加热时间、旋转速度、主次轴转速比、树脂加料量、树脂的浸润等因素在工艺中的作用。

关键词 三维编织 旋转模塑 浸润

三维编织复合材料是 20 世纪 80 年代发展起来的一种新型纺织复合材料,具有异型件一次编织整体成型、结构不分层、冲击强度高、综合力学性能好等特点,在航空、航天等高技术领域越来越受到重视。目前三维编织复合材料的制造是采用树脂传递模塑法(RTM)来实现的。但由于该工艺对模具系统要求较高,特别是在制造大尺寸的三维编织复合材料时模具面积大,基体充模时模具内承受的压力较大,极易产生变形,同时模具费用很高,因此,该法的应用在一定程度上受到了制约。

旋转模塑是生产中空塑料制品的方法之一,初期以液态树脂注入模具,发展至今塑料粉末也可用于旋转模塑,其优点是设备和模具投资较少,适用于大中型及复杂形状的塑料制品的生产。20 世纪 70 年代初 M. W. Sowa 等开始研究短纤维增强塑料的旋转模塑工艺,但以三维编织物为增强材料的旋转模塑工艺至今尚未见文献报道,如果将这种方法应用于三维编织复合材料的成型,将会大幅度降低模具及工艺设备的费用,对于大尺寸中空三维编织复合材料尤为突出,将弥补 RTM 的不足。笔者对三维编织旋转模塑新方法进行了可行性设计与分析。

1 成型原理

旋转模塑法的加热成型和冷却过程全部在同一个没有压力作用的模具中进行,首先将三维编织预制件装入模具,闭模后对模具加热,同时使模具绕两个互相垂直的轴线旋转,当金属模具加热到一定温度并保持一定时间时,由于离心力的作用,模具内的基体逐渐渗透到编织物预制件中,按基体的固化条件控制温度直到完全固化,冷却后脱模即可得到所需产品。工艺流程如图 1 所示。

2 三维编织圆管旋转模塑工艺的设计

2.1 三维编织圆管预制件

要保证三维整体编织复合材料管的性能稳定,

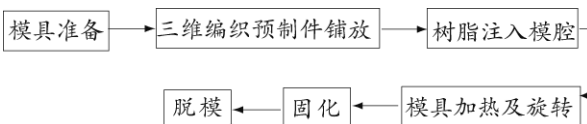


图 1 三维编织旋转模塑工艺流程图

必须要求三维整体编织管纤维束伸直度一致、表面编织角一致、花节长度一致。张力是保证三维整体编织管纤维伸直度的重要因素,若张力过大,影响表面编织角的提高;张力不足,将造成纤维束屈曲,直线度下降;张力失效时,纤维束会严重屈曲,甚至出现起圈现象。纤维束的打紧程度直接影响表面编织角的大小,在编织管状增强体的过程中,每一个循环之后,都需进行打紧动作,而打紧的程度直接反映表面编织角的大小,纤维束在空间交织得越紧,表面编织角越大。同时打紧程度的均匀性还影响花节长度。三维整体编织管的工艺参数见表 1。纤维束初始排列位置如图 2,携纱器的运动轨迹如图 3。

表 1 三维整体编织管的工艺参数

项 目	参 数
高强玻纤 /tex	960
径向纱线 /根	48
轴向纱线 /根	48
花节长度 /mm	5.4
表面编织角 / (°)	15
内径 /mm	20
外径 /mm	25
长 /mm	250

2.2 模具设计

图 4 为旋转模塑法设备示意图。旋转模塑用的模具是壳状的,制品的外形尺寸即为模具的内腔,模具的制造材料有较宽的选择范围,制造方法也有铸造、薄板焊接、电铸成型三种,选用何种材料应根据制件所需数量、复杂程度和制品的表面粗糙度来决

* 天津市自然科学基金资助项目 (013604311)

收稿日期:2002-11-11

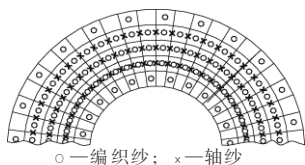


图2 纤维束初始排列位置示意图

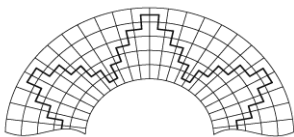


图3 携纱器运动轨迹示意图

定。对于形状复杂、表面质量要求高的制品可采用铸铝和电铸成型的模具, 模具壁厚一般为 5 ~ 10 mm; 对于尺寸大的制品应首先采用钢板焊接并适当加强的方法。模具设计类似于 RTM 工艺的模具设计^[1], 应主要考虑材料的导热性、分型面、锁紧机构、脱模和预埋件几方面, 并留有排气孔。

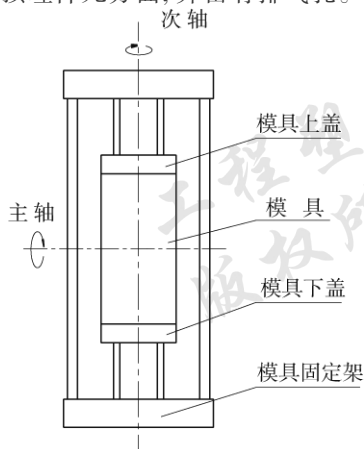


图4 旋转模塑法设备示意图

2.3 三维编织圆管旋转模塑工艺控制

2.3.1 模具的加热时间

模具的温度是影响树脂基体流动的重要因素之一, 如果采用固化炉的加热方式, 可以假定模具的导热性很好, 近似地认为温度沿模具厚度和表面的分布是均匀的, 初始状态模具的温度为 T_1 , 固化炉内空气温度为 T_2 , 经过一段时间 dt 后, 模具表面温度的增量为 dT , 由热量平衡可得式(1):

$$\rho C_p L dT = h(T_2 - T_1) dt \quad (1)$$

式中: ρ ——模具材料的密度;

C_p ——模具材料的比热容;

L ——模具的特征尺寸;

dT ——模具表面温度增量;

T_2 ——固化炉内空气温度;

T_1 ——初始状态模具温度;

h ——运流放热系数;

dt ——时间增量。

模具材料的导热系数 k 由式(2)求得:

$$k = \alpha \rho C_p \quad (2)$$

对公式(1)积分并整理后得式(3):

$$t = -\frac{Lk}{h\alpha} \ln \frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

2.3.2 模具的旋转速度

采用两个可调速电机使模具同时绕主轴和次轴旋转, 通过调节主轴和次轴的转速比可使的制品的厚度相对均匀。模具旋转的基本作用是使树脂基体渗透到三维编织物中, 并均匀地分布于预制件中。在普通的塑料旋转模塑工艺中, 旋转速度较慢, 离心力可以忽略不计。由于三维编织预制件的致密性, 旋转模塑时应提高其旋转速度, 使离心力增加, 以有利于树脂的渗入。

模具作匀速圆周运动时的离心力由式(4)求得:

$$F = 2G \dot{v}^2 / d \quad (4)$$

由速度与转速的关系可得:

$$n = \frac{1}{d\pi} \frac{Fd}{2G} \quad (5)$$

式(4)、式(5)中: F ——离心力, N;

G ——物体的质量, kg;

$\dot{v}$ ——旋转速度, m/s;

d ——旋转直径, m;

n ——转速, r/min。

其中离心力可视为编织物在旋转过程中单位面积上所受到的反作用力, 参照表 1 所列工艺参数, 计算后, 得转速 $n = 244$ r/min。

2.3.3 树脂加料量

按照设计要求控制圆管的编织工艺并计算出体积含量 V_f 为 55%, 相应地计算出树脂的含量 V_m 为 45%, 笔者所述管的体积为 $44\ 178.6$ mm³, 则所需树脂的体积为 $19\ 880.4$ mm³, 理论上所需树脂量为 21.9 g, 由于在旋转过程中树脂会粘附于模具的上下底面, 所以实际用量应增加总质量的 5% ~ 10%, 实际投料量约为 24 g。

2.3.4 树脂对三维编织预制件的浸润

为了使树脂紧密地粘附在预制上, 必须使树脂与预制件相互润湿, 形成某种能量最低的结合状态。

当接触角 $\theta > 90^\circ$ 时, 不润湿; 当 $\theta < 90^\circ$ 时, 润湿; 当 $\theta = 0^\circ$ 时, 完全润湿, 此时润湿速度将取决于

液体的粘度和固体的表面粗糙度,由于三维编织结构的特点使得固体的表面具有排列整齐的微小的凹凸表面,同时树脂也具有较低的粘度,有利于树脂的浸润。笔者以 TDE - 85 环氧树脂为基体,其粘度 - 温度曲线及适用期分别如图 5、图 6 所示。由粘度 - 温度曲线可知,90℃时树脂的粘度最低,为 120 mPa · s,8 h 后凝胶。这表明 TDE - 85 树脂具有较低的粘度和充足的时间浸渍三维编织物。在成型过程中可根据粘度 - 温度曲线将树脂预先加热到80

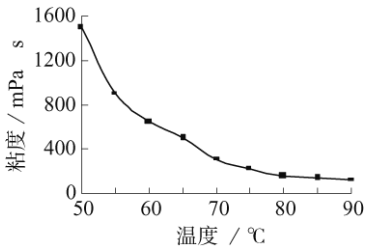


图 5 TDE - 85 环氧树脂的粘度 - 温度曲线

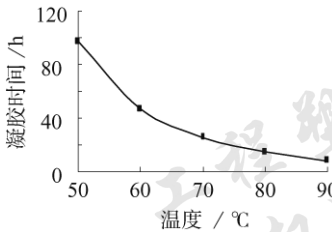


图 6 TDE - 85 环氧树脂不同温度下的凝胶时间

~90℃,使树脂在低粘度状态下浸渍预制件。对于不同纤维体积分含量的预制件可按照图 5、图 6 综合考虑温度、粘度、时间的关系。

3 结语

采用旋转模塑的新方法成型三维编织预制件在理论上是可行的;解决了三维编织 RTM 成型工艺固有的缺点,大幅度降低了制造成本,使三维编织复合材料有可能应用于非军事领域。其具体工艺参数、设备技术等有待于进一步深入研究。

参考文献

- 1 吴晓青. 三维编织 RTM 工艺的模具设计. 纺织学报, 2003, 24 (1) : 55
- 2 戴干策. 聚合物加工中的传递现象. 北京: 石油化工出版社, 1996.
- 3 吴晓青. 三维编织管的设计与制造. 玻璃钢/复合材料, 1998 (4) : 21
- 4 朱文涛. 物理化学. 北京: 清华大学出版社, 1995. 133
- 5 Crawford R J. Rotational moulding of plastics. Progress in Rubber and Plastics Technology, 1990, 6(1) : 8
- 6 Rabinovitz E, Rig Z. Rotational moulding of polyurethane, Plast Rubb Process, 1985 (4) : 366
- 7 Dietz W. A cooling time model for plastics processing operations. Polym Eng Sci, 1978, 18 (10) : 1030
- 8 Ramazzotti D. Plastic Product Design Handbook. New York: E Miller, Marcel Dekker, 1983.

DESIGN OF THE NEW PROCESS OF THE ROTATIONAL MOLDING FOR 3-D BRAIDING

Wu Xiaoqing, Li Jialu, Song Chunhua

(Composites Research Institute, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

ABSTRACT A new process of the rotational moulding process for 3-D braiding was designed. 3-D braiding is used as the reinforcement, TDE - 85 epoxy resin is used as the matrix. Influence of the rotational moulding on the processes such as mould structure, heating time, rotational speed, ratio between primary axis and secondary axis, weight of the matrix, soakage of matrix was discussed.

KEYWORDS 3-D braiding, rotational moulding, soakage

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No _____

读者姓名 _____ 单位 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ 邮政编码 _____

欲获得《工程塑料应用》_____年第_____期第_____页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031