

径向法测量经编双轴向织物渗透率

刘井红 吴晓青

(天津工业大学复合材料研究所,天津 300160)

文 摘 用径向法测量了经编双轴向玻璃纤维织物的渗透率,研究了织物结构、纤维体积分数和注入压力对渗透率的影响。实验表明,经编双轴向玻璃纤维织物的渗透率呈各向异性,随着纤维体积分数增大,织物渗透率减小,各向异性的程度增加。在低的纤维体积分数下,低的注入压力影响渗透率的精确测量,注入压力增大到一定值时,纤维渗透率保持恒定。

关键词 树脂传递模塑,各向异性,渗透率,经编双轴向织物

Radial Flow Permeability Measurement of Biaxial Warp Knitting Glass Fabric

Liu Jinghong Wu Xiaoqing

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

Abstract Radial flow technique is employed to determine the permeability of the biaxial warp knitting glass fabric. The affects of weave structure, fibrous volume content and injection pressure on the in-plane permeability are studied. The results indicate that the permeability of the biaxial warp knitting glass fabric is anisotropic. The extent of anisotropy increases and the permeability decreases as the value of the fibrous volume content enhances. The accurate permeability is influenced by low injection pressure at low fibrous volume content. The permeability can be kept constant when the injection pressure reaches a higher value.

Key words Resin transfer moulding, Anisotropy, Permeability, Biaxial warp knitting fabric

0 引言

树脂在纤维间的流动是RTM工艺的关键之一,树脂浸渍是否充分直接影响制品的性能。很多研究人员应用计算机模拟树脂在纤维中的流动,以便了解树脂充模过程。其中渗透率是描述增强材料对树脂流动阻力的参数,决定了模拟的准确性。目前,国内外很多学者对不同增强材料的渗透率进行了研究,提出了单向法^[1-5]和径向法两种方法来测量织物的渗透率。由于单向法容易产生边缘效应,应用受到了限制。径向法可以在一个实验中同时得到两个主渗透率的大小和方向,与实际的RTM过程极其类似,因而得到了广泛应用^[6-12]。Adams等^[13]最先提出了在RTM过程中测量渗透率的径向法;随后,Adam等^[14]又来求解在恒定注入压力下沿着主轴方向各向异性渗透率。J. R. Weitzenbock^[15-16]详细论述了用恒压径向法求各向(异)性材料主渗透率的方法。

经编双轴向玻璃纤维织物是衬经纱和衬纬纱平直排列并垂直叠加,再用捆绑纱线将他们的交织点捆绑在一起。因为织物中各衬垫的纱线组都是平行排列,

取向度很高,能够共同承受外来载荷,所以织物的拉伸强力高。捆绑纱线为高强度涤纶长丝,具有较高的断裂强度和断裂延伸率,在小负荷作用下不易变形,而且耐磨性能好,所以经编双轴向玻璃纤维与传统机织物相比,具有不易屈曲、断裂强力和撕破强力高等优点。因此测试经编双轴向玻璃纤维织物的渗透率,掌握其渗透特性,具有重要意义。本文采用径向法测量经编双轴向玻璃纤维织物的渗透率,研究了织物结构、纤维体积分数和注入压力对其渗透率的影响。

1 理论

RTM充模过程,可看成是黏性液体在多孔介质中的流动,通常用达西定律来描述:

$$v = -\frac{k}{\mu} \cdot P \quad (1)$$

式中, v 为液体流速, k 为渗透率, μ 为液体黏度, P 为压力差。在此基础上,J. R. Weitzenbock^[15]等人推导了沿主轴方向各向异性主渗透率的计算公式。

$$K_1 = \left[x_f^2 \left(2 \ln \frac{x_f}{x_0} - 1 \right) + x_0^2 \right] \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{\mu}{4P} \quad (2)$$

收稿日期:2005-10-08;修回日期:2006-04-03

基金项目:天津市教委发展基金(020414)和天津市科委自然科学基金(013604311)资助

作者简介:刘井红,1979年出生,硕士,主要从事三维缝合预制件渗透率的研究工作

$$K_2 = [y_f^2 (2 \ln \frac{y_f}{y_0} - 1) + y_0^2] \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{\mu}{4P} \quad (3)$$

式中, K_1 、 K_2 分别为沿 x 、 y 主轴方向的主渗透率, t 是从开始注入到液体到达某特定点的时间, μ 为液体黏度, ρ 为织物孔隙率, x_f 和 y_f 为流动前沿半径坐标, x_0 和 y_0 是注入口半径坐标。 P 是流动前沿压力和注入口压力的压力差。

2 实验

2.1 材料

经编双轴向玻璃纤维织物(图 1),其面密度为 991 g/m^2 ,厚 1.2 mm 。沿经纱和纬纱方向的纱线排列密度均为 3.9 根/cm 。所用机油黏度为 $60 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

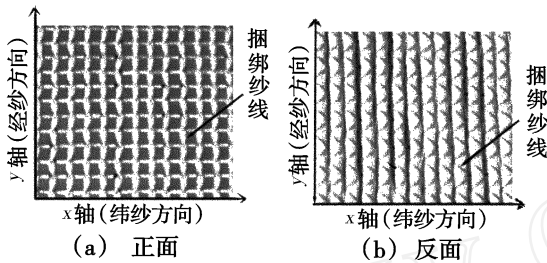


图 1 经编双轴向织物

Fig 1 Biaxial warp knitting fabric used in the experiment

2.2 仪器

所用仪器结构如图 2 所示。模具由上模和底模组成,底模工作面为钢质材料,工作表面中间有一圆形注入口,用来注入液体。上模是透明的,尺寸为 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$,上模和底模之间有钢质垫片,可控制模腔高度。

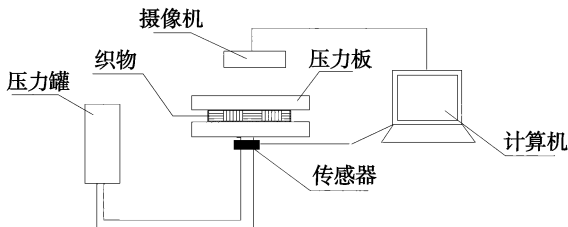


图 2 试验仪器简图

Fig 2 Sketch map of apparatus

2.3 过程

将经编双轴向玻璃纤维织物按一定尺寸裁好,铺放在模腔内,通过调节垫片的厚度来控制织物的纤维体积分数,然后从模具中心以恒定压力注入机油,用压力传感器来采集注入压力的数据,同时用摄像机记录下机油对织物的渗透情况,计算不同纤维体积分数下的渗透率。当体积分数不变时,通过调节注入压力的大小,计算不同注入压力下的渗透率。

3 结果和讨论

3.1 织物结构对渗透率的影响

液体流动前沿的录像图(图 3)表明了液体在织物内的流动呈椭圆形,椭圆的长轴沿 y 轴方向,短轴沿 x 轴方向。

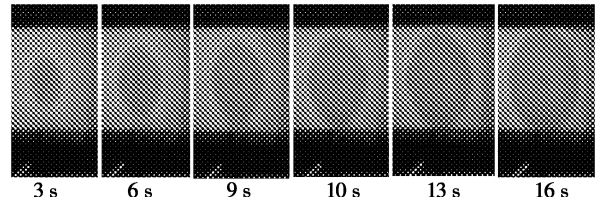


图 3 不同时刻液体在织物内的流动前沿

Fig 3 Flow front of resin in woven fabric at different time

如果单从经纬纱线的排列密度来看,流动前沿应该呈圆形的各向同性状态,实验中产生的椭圆形状表明了捆绑纱线对液体渗透有重要影响。织物正面结构[图 1(a)]显示经编双轴向玻璃纤维织物的捆绑纱线沿经纱方向排列紧密,呈平行的直线结构,紧密的捆绑纱线明显地阻碍了液体沿纬纱方向上的流动而引导了液体沿经纱方向的流动。织物的反面结构[图 1(b)]显示了织物沿纬纱方向上也有捆绑纱线束缚,但捆绑纱线呈均匀的“八”字形,每个“八”字形的捆绑纱对液体的阻碍作用被分解成沿经纱和纬纱两个方向上的力,均匀地阻碍了液体在经纬方向上的流动,并没有影响液体流动前沿的各向异性程度。可见,织物正面沿经纱方向上捆绑纱线使其渗透率呈各向异性。

3.2 纤维体积分数对渗透率的影响

图 4 为不同纤维体积分数时织物渗透率的变化。从图 4 可以看出,随着纤维体积分数的增加,织物渗透率呈逐渐减小的趋势,沿经纱方向的渗透率变化较大,沿纬纱方向上的渗透率变化较小。这是因为纤维体积分数的增大使得织物内宏观和微观孔隙都减小,结构更加紧密,加大了液体渗透的难度。

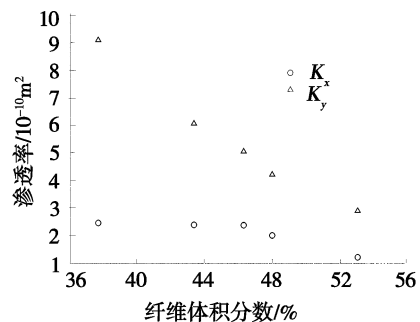


图 4 不同纤维体积分数的渗透率

Fig 4 Permeability of different fabric volume content

图 5 为不同纤维体积分数时流动前沿椭圆短轴和长轴比例的变化,它显示随着纤维体积分数的增加,流动前沿短轴与长轴的比例逐渐减小,说明随着孔隙率的减小,织物渗透率的各向异性程度有所增加。当纤维体积分数较低时,纤维之间的宏观孔隙及纤维束内部的微观孔隙都较大,对液体流动的阻力较小,所以液体沿经纬方向上的流动比较通畅,表现为各向异性程度低;而当纤维体积分数增大时,纤维内部的宏观微观孔隙都减小,尤其是沿纬纱方向上的减

小更明显,所以液体在织物内的流动尤其是沿纬纱方向的流动更为困难,表现为各向异性程度增加。这个结果与陈萍等人^[17]的实验结果相符。

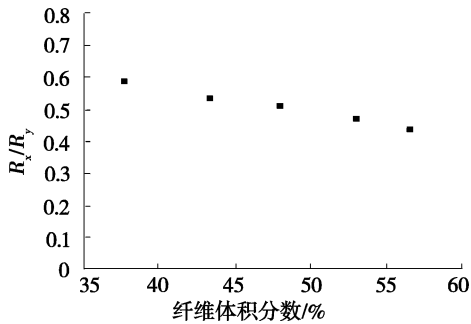


图 5 不同纤维体积分数的短长轴的比例

Fig 5 Scale of short axis to long axis in different fabric volume content

3.3 注入压力对渗透率的影响

图 6 为体积分数为 34% 时注入压力和渗透率的关系。可以看出随着注入压力的增加,渗透率先增大后趋于稳定。当纤维体积分数较低时,织物中同时进行着液体的宏观和微观流动,但宏观流动占主导。

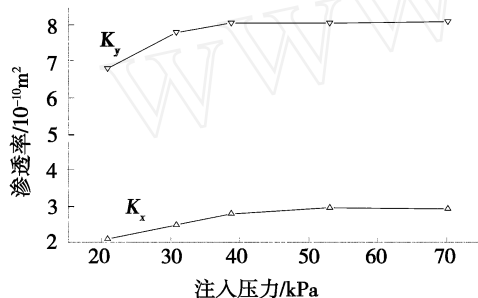


图 6 不同注入压力时的渗透率

Fig 6 Pemeability of different pressure

另一方面,液体流动前沿驱动压力 $P = P_m + P_g + P_v + P_c$ 。式中, P 为总的压力差, P_m 注入压力, P_g 为万有引力引起的压力, P_v 为真空辅助压力, P_c 为毛细压力。实验所用材料的放置和流动前沿方向垂直于重力方向,则 P_g 略去不计;实验中未采用真空辅助注射则 $P_v = 0$;此时压力差就简化为 $P = P_m + P_c$ 。当注入压力较小时,微观毛细压力与注入压力具有可比性,这时如果忽略毛细压力,根据式(1)计算出的渗透率值偏低。而随着注入压力的增大,毛细压力与注入压力相比影响逐渐较小,随着压力的进一步增大,毛细压力可以忽略不计,渗透率的值趋于稳定。可见,在纤维体积分数较低或注入压力较小时,毛细压力会影响纤维渗透率,但当注入压力增大后,渗透率不再受注入压力的影响。

4 结论

(1) 经编双轴向玻璃纤维织物的渗透率呈各向异性,主轴方向平行于织物经纱方向。

(2) 纤维体积分数增大织物渗透率减小,各向异性程度增加。

性程度增加。

(3) 在纤维体积分数较低和注入压力较小时,毛细压力会影响纤维渗透率的精确测量,注入压力升高达到一定值后,渗透率保持恒定。

参考文献

- 1 Foley M F. Techno-economic automated composite manufacturing techniques J. SAMPE Quart, 1991; (1): 61 ~ 68
- 2 Ahn K J, Seferis J C. Simultaneous measurements of permeability and capillary pressure of thermosetting matrices in woven fabric reinforcements J. Polym. Compos, 1991; 12: 146 ~ 152
- 3 Trevino L. Analysis of resin injection molding in molds with replaced fibre mats I permeability and compressibility measurements J. Polym. Compos, 1991; 12: 20
- 4 Verheus A S, Peeters J H A. The role of reinforcement permeability in resin transfer moulding J. Compos Manual, 1999; 4: 33 ~ 38
- 5 Williams J G. Liquid flow through fibre beds J. Polym. Eng Sci, 1974; 14: 413 ~ 419
- 6 Adams K L, Russel W B, Rebenfeld L. Radial penetration of a viscous liquid into a planar anisotropic porous medium. J. Compos Manual, 1988; 14: 203 ~ 215
- 7 Adams K L, Miller B, Rebenfeld L. Forced in-plane flow of an epoxy resin in fibrous networks J. Poly Eng Sci, 1986; 26: 1 434 ~ 1 441
- 8 Cater E J, Fell A W, Summerscales J. A simplified model to calculate the permeability tensor of an anisotropic fibre bed J. Compos Manu, 1995; 6: 228 ~ 235
- 9 Chan A W, Hwang S T. Anisotropic in-plane permeability of fabric media J. Polym. Eng Sci, 1991; 31: 1 233 ~ 1 239
- 10 Hirt D E, Adams K L. In-plane radial fluid flow characterization of fibrous materials J. Thermal Insulation, 1987; 10: 153 ~ 172
- 11 Pamas R S, Salem A J. A Comparison of the unidirectional and radial in-plane flow of fluids through woven composite reinforcements J. Polym. Compos, 1993; 14: 383 ~ 394
- 12 Lai Y H, Knomani B, Kardos J L. Accurate permeability characterization of performs used in polymer matrix composite fabrication processes J. Polym. Compos, 1997; 18: 368 ~ 377
- 13 Adams K L, Russel W B, Rebenfeld L. Radial penetration of a viscous liquid into a planar anisotropic porous medium. J. Inter J. Multiphase Flow, 1988; 14: 203 ~ 215
- 14 Adams K L, Miller B, Rebenfeld L. forced in-plane flow of an epoxy resin in fibrous networks J. Polym. Eng Sci, 1986; 26(20): 1 434 ~ 1 441
- 15 Weitzenbock J R, Sheno R A. Radial flow permeability measurement Part A: Theory J. Compos Part A, 1999; 30: 781 ~ 796
- 16 Weitzenbock J R, Sheno R A. Radial flow permeability measurement Part B: Application J. Compos Part A, 1999; 30, 797 ~ 813
- 17 陈萍,李宏运,陈祥宝. 结构和体积含量对纤维织物渗透率的影响. 复合材料学报, 1997; (4): 12 ~ 14

(编辑 吴坚)