

三维编织复合材料的细观结构分析

修英姝 陈 利 李嘉禄

(天津纺织工学院复合材料研究中心 天津 300160)

摘 要 三维编织复合材料的优异性能是与细观结构密切相关的,本文在深入研究编织纱线运动规律的基础上,讨论了三维编织结构的单元体模型,并推导了编织工艺参数和几何结构参数之间的数学关系,通过实验验证,证明了关系的正确性。

关键词 细观结构,三维编织,单胞模型,纺织复合材料

Microstructure Analysis of Three-dimensional Composites

Xiu Yingshu Chen Li Li Jialu

(Tianjin Polytechnic University Tianjing 300160)

Abstract The excellent performance of 3D braided composites is related to their microstructure. In this paper, unit cell models are established on the basis of the rule of yarn movement. Mathematical relationship of the braided parameters with geometry parameters is founded and the valid of their relationship is proved by experimental results.

Key words Microstructure, 3D braiding, Unit cell, Textile composite

随着三维编织复合材料应用的日益广泛,深入研究其细观结构显得尤为重要,因为三维编织复合材料的性能是与细观结构密切相关的。为了预测三维编织复合材料的性能,人们对三维编织结构作了大量的研究,提出了各种各样的单元体模型。本文给出了一种描述三维编织预制件的纱线编织结构的分析方法,得出了编织纱线的运动规律,并提出一种新的单元体模型。

1 三维编织工艺理论

1.1 纱线运动规律

三维编织是通过携纱器携带编织纱线运动,使编织纱线彼此相互交织,因此纱线编织结构主要取决于携纱器的运动规律^[1]。以四步法 1×1 编织工艺为例,携纱器的运动分为四步:(1)不同列的携纱器交替地运动一个位置;(2)不同行的携纱器交替地运动一个位置;(3)运动方向与第一步相反;(4)运动

方向与第二步相反。以上四步构成一个机器循环,一个机器循环后所获得预制件长度为一个编织花节长度 h ^[2~4]。

在连续的编织过程中,每一个携纱器携带编织纱线沿着固定的折线轨道,穿越内部,遍历所有边界,经过若干步后回到起始位置。携纱器所携带的编织纱线总是沿携纱器连续运动的方向运动。观察图 1 中携纱器 A 从 A 点运动到 H 点的轨迹,携纱器 A 沿折线轨迹经从 A 运动到 E,在 E 点停动一步后改变方向运动到 F 位置,LI 为携纱器 A 的运动趋势线。如果将携纱器在机器上的排布看作是预制件的横截面的映射,则 LI 为携纱器 A 所携带的编织纱线的运动轨迹的水平投影。对于携纱器 A 经过整数倍机器循环可到达的位置点上的那些携纱器,它们的运动轨迹与携纱器 A 的相同,只是起始点的位置不同。而且,在映射平面内,编织纱线从预制件

收稿日期:2000-03-13

修英姝,1976 年出生,硕士研究生,主要从事三维编织复合材料的细观结构和力学性能的研究工作

内部运动到表面比携纱器运动到机器边界滞后半步,导致纱线的运动总比携纱器滞后半步。

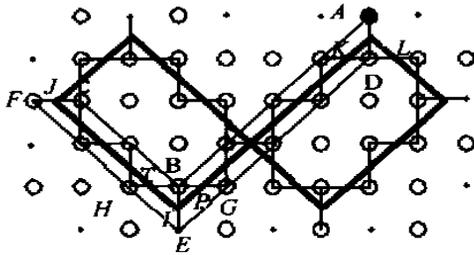


图1 三维编织携纱器运动规律图

Fig. 1 Movement rule figure of 3D braiding carrier

1.2 单元几何模型

图2描述了一个机器循环中编织纱线的水平运动轨迹。其中,实线表示编织纱线在前两步的运动,虚线表示后两步的运动。因为纱线的运动比携纱器滞后半步,因而,编织纱线的运动位置的水平投影为携纱器的相邻运动位置的中点。根据图2中的编织

纱线的运动轨迹以及一个机器循环后所形成的编织结构的长度 h ,绘制三维编织复合材料的代表性体积单元模型如图3所示,粗线代表编织纱线的轴线。三维编织复合材料的内部由内部单胞组合而成,表面分布有面单胞,棱角处分布有角单胞。进一步研究表明,相邻表面的单胞分布沿编织长度方向相错 $0.75h$,这是由于在同一条轨道上处于相邻边界的携纱器的运动规律相错三步。

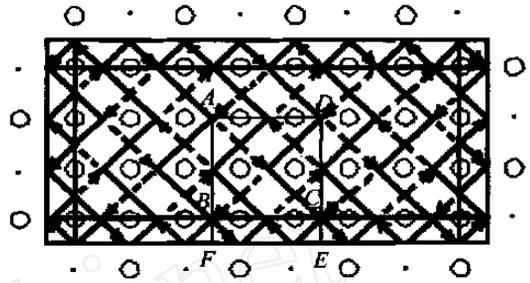
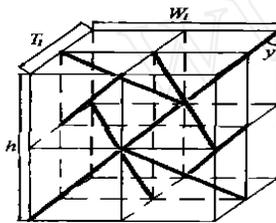
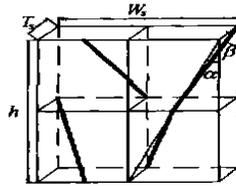


图2 四步法编织复合材料的理想的纱线路径图

Fig. 2 Ideal yarn path of four step braided composite



(a) 内部单胞



(b) 面单胞



(c) 角单胞

图3 三维编织结构的单元体模型

Fig. 3 Unit model of 3D braiding

在这里,我们定义内部编织角,表面编织角和棱角编织角分别为内部、表面和棱角的编织纱线与织物成型方向的夹角。表面角为表面编织角在编织表面上的投影。

2 编织工艺参数之间的关系

2.1 基本假设

为了分析编织工艺参数之间的关系,建立如下假设:

- (1) 纤维束的横截面为椭圆形,其长轴为 a ,短轴为 b ,纤维束沿长度方向是均匀的;
- (2) 编织过程是均匀稳定的;
- (3) 编织纱线具有同样的细度和柔韧性;

(4) 编织纱线具有相同的纱线填充因子。

2.2 单元体的几何尺寸

根据假设,三个单胞的高度均为一个花节长度 h ,且:

$$\begin{aligned} W_i &= T_i = 4\sqrt{2}b \\ W_s &= 4\sqrt{2}b \quad T_s = \sqrt{2}b \\ W_c &= T_c = \sqrt{2}b \end{aligned} \quad (1)$$

预制件横截面的宽度 W 和厚度 T 分别为:

$$W = 2\sqrt{2}nb \quad T = 2\sqrt{2}mb \quad (2)$$

其中 n 为主体纱的列数, m 为主体纱的行数。

根据定义,内部编织角、表面编织角、棱角编织角以及表面角之间的关系:

$$\operatorname{tg} = 2\operatorname{tg} = 2\sqrt{2}\operatorname{tg} = 3\operatorname{tg} \quad (3)$$

且,表面角与花节长度的关系为:

$$\operatorname{tg} = W/nh \quad (4)$$

2.3 挤紧状态

在编织过程中,完成“打紧”工序后,编织纱线彼此靠近,达到挤紧状态。沿与预制件表面成 45° 截取一平面,则编织纱线间的空间位置如图 4 所示。

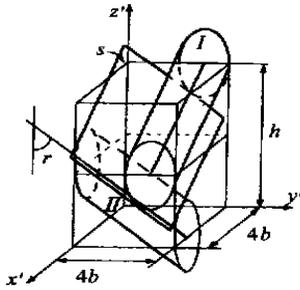


图 4 预制件内部区域的挤紧状态

Fig. 4 Jamming state of preform interior region

在给定的坐标系中,两根编织纱线表面的方程 (Y_1 、 Y_2) 可写成:

$$Y_1: [(x - 8b)\cos + z\sin]^2/a^2 + (y - 4b)^2/b^2 = 1$$

$$Y_2: (x - 3b)^2/b^2 + [(y - 4b)\cos + z\sin]^2/a^2 = 1$$

设 S 为 Y_1 和 Y_2 的切平面,其方程为:

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

A 、 B 、 C 、 D 为待定系数。

根据切平面 S 与 Y_1 和 Y_2 的几何关系可得:

$$a = b\sqrt{3}\cos \quad (5)$$

当 $\alpha < 54.7^\circ$, $a > b$, 即编织纱线横截面长轴比短轴长; 当 $\alpha = 54.7^\circ$, $a = b$, 即编织纱线横截面长轴和短轴相等; 当 $\alpha > 54.7^\circ$, $a < b$, 即编织纱线横截面长轴比短轴短, 这种状态很难达到。所以, 内部编织角 α 的变化范围为 $0^\circ \sim 54.7^\circ$ 。相应地, a/b 也从 1.732 减小到 1。因而, 随着编织角的变化, 编织纱线的横截面存在两种极限形态: 一种为内部编织角接近 0° , 内部编织纱横截面长短轴之比为 1.732, 另一种为内部编织角接近 54.7° , 内部编织纱横截面的长短轴之比为 1。

2.4 纱线填充因子

纱线填充因子定义为编织纱线内纤维的体积分数:

宇航材料工艺 2001 年 第 3 期

$$= D_y^2/4 = D_y^2/4ab \quad (6)$$

其中, $D_y = \sqrt{4/(\dots)}$ 是编织纱线的等效直径, ρ 是编织纱线的线密度, ρ_v 是编织纱线的体积密度, A 为椭圆面积。

将式(2)和式(5)代入式(6), 得:

$$= 2\sqrt{3}D_y^2n^2\sqrt{1+8\tan^2}/(3W^2) \quad (7)$$

2.5 纤维体积分数

三维编织物的纤维体积分数为:

$$V_f = V_i\sqrt{3}/8 + V_s\sqrt{3}\cos/(4\cos) + V_c3\sqrt{3}\cos/(8\cos) \quad (8)$$

其中 V_i 、 V_s 和 V_c 为三种单胞所占整体结构的体积分数。 $V_i = (m - 1)(n - 1)/mn$; $V_s = m + n - 2/mn$; $V_c = 1/mn$ 。

表 1 显示纤维体积分数的计算值与实测值吻合较好。误差主要是由于花节长度的测量误差引起。

表 1 三维编织物的纤维体积分数
计算值与实测值的比较

Tab. 1 Comparison of measuring and calculating values of fiber volume fraction for braided composites

编号	纤维	主体纱	宽度 /mm	花节长度 /mm	纤维体积分数/ %	
					实测值	计算值
T1	6K	25 × 9	20.01	4.38	43.31	45.32
T2	6K	27 × 9	21.06	4.54	44.27	47.13
T3	6K	27 × 9	23.06	2.08	49.85	51.76
T4	12K	22 × 6	23.04	5.78	52.83	54.74

3 结论

三维编织是通过携纱器携带编织纱线运动, 使编织纱线彼此相互交织。在连续的编织过程中, 每一个携纱器沿着固定的折线轨道运动。携纱器所携带的编织纱线沿着携纱器连续运动的方向运动。在水平映射平面内, 编织纱线的运动总比携纱器滞后半步。

三维编织复合材料的内部由内部单胞组合而成, 表面分布有面单胞, 棱角处分布有角单胞。在椭圆形横截面假设的基础上, 建立了编织工艺参数的数学模型。纤维体积分数的估计值与实测值吻合较好。

参考文献

1 陈利. 三维编织复合材料的细观结构及其弹性性能分析. 博士学位论文, 天津纺织工学院, 1998

2 Li W, Hammad, EF Shiekh A. Structural analysis of 3-D braided preforms for composites part I: the four-step preform, J. Text Inst., 1990; 81: 515 ~ 537

3 You-Qi Wang, Wang A S D. Microstructure/property rela-

tionships in three dimensionally braided fiber composites. Composites Science and Technology, 1995; 53: 213 ~ 222

4 Byun Joon-Hyun, Chou Tsur-Wei. Process-microstructure relationships Of 2-step and 4-step braided composites. Composites Science and Technology, 1996; 56: 235 ~ 251

弹性筒注塑成型后处理工艺

弹性筒是生产铝氟硅酸电池贮存电解液的容器,是由聚异丁烯和高压聚乙烯按 7:3 比例混合挤出选粒,在注塑机上成型的。两种材料存在相溶性问题,成型中又产生内应力,很难得到机械性能高、外观好的制品。

本成果研究的后处理工艺,就是在模具温度较低的情况下生产出外观质量好的产品,然后在一定温度下退火一段时间,给予一定能量,使分子链活动、大分子松弛,从而降低产品内应力,增加材料结合力,减少空隙,使弹性筒的机械性能达到要求。本成果通过对退火温度和退火时间的选择试验,确定出在 70℃ 退火 30 min 的最佳工艺。经高低温交变试验,证明后处理工艺是可靠的。机械性能较高,室温延伸率大于 100%,室温抗张强度大于 2.45 MPa,低温延伸率大于 400%,扭转角大于 200°。本成果为聚合物共混开发新产品提供了一条有效新途径。有较高的实用价值和广泛应用前景。工艺方法简便,易操作,可产生较大经济效益。

电连接器壳体冷挤压成形技术

冷挤压成形技术是指在室温条件下,由模具借助锻压机械的压力,将金属坯料压制所需形状的工艺技术,是一种少切削、无切削加工工艺。采用冷挤压技术成形金属零件,与传统的机械切削方法或铸造法相比,具有节省原材料、降低能源消耗、提高生产效率、提高零件的几何精度、提高强度和刚度、可加工形状复杂的异形零件等优点。

本成果经过多年试验,已成功地把冷挤压成形技术应用到电连接器的铝合金壳体的生产中,制造出多种圆形、矩形电连接器的铝合金壳体零件。采用本项技术制造的铝合金壳体壁厚质轻比强度高,形状复杂质量好。最小壁厚可达 0.5 mm,内外形同轴度可达 0.1 mm,粗糙度可达 0.8 μm。与机械切削加工相比,可节省材料 60% 以上,并明显提高了劳动生产率(数倍),应用广泛。

· 李连清 ·