

不同机织结构碳布针刺后拉伸性能

纪伶伶 嵇阿琳 李飞 白侠

(西安航天复合材料研究所,高性能碳纤维制造及应用国家地方联合工程研究中心,西安 710025)

文 摘 针刺后碳布拉伸强力的大小决定了针刺预制体的性能,研究针刺后碳布拉伸强力可以为针刺工艺参数优化、提高预制体性能提供重要参考。本文研究了不同机织结构碳布针刺前、后的拉伸性能及影响拉伸强力的主要因素。在3K平纹碳布、3K斜纹碳布及3K缎纹碳布中,3K斜纹碳布具有较高的拉伸强力、较大的拉伸强力保留率,针刺工艺性最好。在一定的针刺工艺下,碳布各层拉伸强力可以用函数 $y = A_1 \times e^{-x/t_1} + y_0$ 来模拟,其中 A_1 、 t_1 、 y_0 为常数。针刺密度是影响针刺后碳布拉伸强力及强力保留率的主要因素,最终针刺密度决定了针刺后碳布拉伸强力的变化。3K斜纹碳布在针刺密度为26针/cm²时,经、纬向的拉伸强力与未针刺时相比分别下降了42.0%和49.1%;当针刺密度为32针/cm²时,其经、纬向拉伸强力则分别下降了71.4%和78.8%。

关键词 机织结构,碳布,拉伸强力,针刺密度

Tensile Stress of Needled Carbon Cloth With Different Woven Structures

Ji Lingling Ji Alin Li Fei Bai Xia

(Xi'an Aerospace Composites Materials Research Institute, National and Local Union Engineering Research Center of High-Performance Carbon Fiber Manufacture and Application, Xi'an 710025)

Abstract Carbon cloth was a key material for preparing the 3D woven performs. The property of needled perform was decided by the tensile stress of carbon cloth after needling. The tensile stress of needled carbon cloth could provide a reference for optimizing technical parameters and improving properties of performs. The tensile stress and the factors that affect the stress of carbon cloth were studied. Among the 3 K plain carbon cloth, the 3K twill carbon cloth and the 3K satin carbon cloth, the 3K twill carbon cloth has a high tensile stress and stress retention and shows the best technological properties. Under a certain process, the tensile stress of the needled carbon cloth can be simulated by a function of $y = A_1 \times e^{-x/t_1} + y_0$, in which A_1 , t_1 and y_0 are constants. The needle punching density was the most important factor that affected the tensile stress and the stress retention percent, and the final needle punching density decided the tensile stress. When the needle punching density was 26 n/cm², the stress of warp and weft direction of 3K twill carbon cloth decreased 42.0% and 49.1% respectively, and when the needle punching density was 32 n/cm², the number was 71.4% and 78.8%.

Key words Woven structure, Carbon cloth, Tensile stress, Needle punching density

0 引言

针刺碳布/网胎复合织物预制体具有成型工艺简单、生产周期短、工艺可设计性、成本低等特点,可制作大型异形和薄壁制品,广泛应用于大型固体火箭发动机扩张段、延伸锥、C/C刹车盘等部件。碳布、网胎是针刺预制体原材料的主要构成成分,其中碳布为预制

体提供主要力学性能,由于针刺工艺的可设计性,其性能能成为影响预制体性能的关键因素。

碳纤维布本质为一种纺织织物,即碳纤维短切纤维、长丝或纱线制成的具有平面结构的织物^[1]。碳布的机织结构是影响碳布力学性能的主要因素。根据机织物中经纬纱相互交织的规律和形式,可分为平纹织

收稿日期:2013-01-14

基金项目:国防基础科研项目(C0320110006)

作者简介:纪伶伶,1984年出生,硕士,主要从事C/C复合材料工艺研究。E-mail:ling_0212@yahoo.cn

物、斜纹织物和缎纹织物。这三种基本织物的根本区别在于经纬纱间的交织频率以及纱线轴线保持直线的长度。

机织物是平面各向异性材料,纤维的取向分布在经向和纬向,机织物的经向(或纬向)拉伸性能在小变形、忽略纱线拉伸变形的条件下,由纱线卷曲率所导致的几何结构变形对拉伸性能起着主要的影响作用^[1]。本文从不同机织结构碳布的单轴拉伸性能出发,研究了三种碳布针刺后的拉伸强力及拉伸强力保留率,探讨了拉伸强力及保留率的影响因素,为针刺工艺参数优化、提高预制体性能提供参考。

1 试验

选用3K平纹碳布、3K斜纹碳布和3K缎纹碳布在层叠接力针刺工艺下针刺成平板预制体,将平板预制体逐层剥离后测试单层的经、纬向拉伸强力。三种碳布未针刺前经、纬向拉伸强力如表1所示。

表1 几种碳布拉伸强力比较

Tab.1 Tensile stress of different carbon cloth

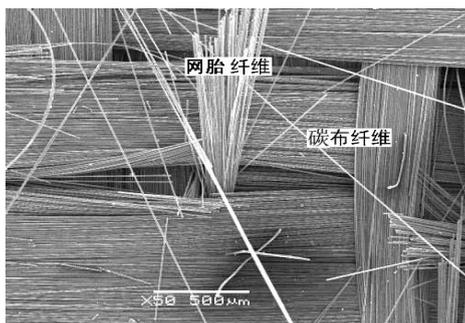
碳布类型	拉伸强力 /N·25mm ⁻¹	
	经向	纬向
3K平纹碳布	2130	2000
3K斜纹碳布	3140	2930
3K缎纹碳布	2840	3630

2 结果与讨论

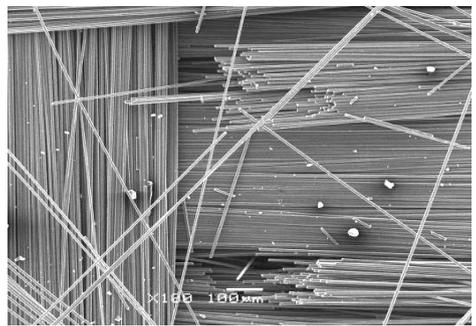
2.1 针刺后碳布损伤

碳布经针刺后,碳布纤维变形方式主要包括:碳布纤维受刺针的挤占作用产生滑移和受刺针的切断作用而产生断裂。碳布纤维经针刺后的形貌如图1所示。

可以观察到平面方向受损伤的碳布纤维和沿预制体厚度方向导入的网胎纤维。部分碳布纤维被切断,未被切断的连续纤维由于受到网胎纤维束的挤占作用而发生扭曲。这些提高了与网胎纤维的缠结程度,同时大大增加了与网胎纤维的接触面积和摩擦阻力,对网胎纤维的握持和约束起到了一定的积极作用。



(a) 50×



(b) 100×

图1 针刺后碳布损伤形貌

Fig.1 Morphology of needled carbon cloth

另外,受挤占的连续纤维在回弹力作用下挤压网胎纤维束,使得网胎纤维束难以拔出,这对网胎纤维的固定也有一定的贡献。

2.2 针刺后拉伸强力的影响因素

2.2.1 单层针刺密度

针刺密度是指单位面积上的有效针刺次数。针刺密度分为单层针刺密度和最终针刺密度。在逐层叠加针刺法中,由于每层都要进行针刺,使得制品最终的针刺密度远大于单层针刺密度。本文中未特别指明的针刺密度均指单层针刺密度。从理论上及实际工艺操作中可以发现,在一定针刺密度范围内,单层针刺密度与碳布拉伸强力成线性关系,即针刺密度越大,碳布的拉伸强力越低。这是由于针刺密度越大,对碳布纤维造成的损伤越大,因此碳布的拉伸强力降低的越快,其强力越小。

2.2.2 针刺深度

针刺深度对碳布拉伸强力的影响等同于针刺密度对拉伸强力的影响。这是由于针刺深度增加,同一次针刺时被针刺的碳布层数的增多,其结果相当于增大了每层的最终针刺密度,必然引起碳布纤维损伤加大,因此,针刺深度对碳布拉伸强力的影响与针刺密度具有相同的效果。

2.2.3 刺针类型

刺针类型是刺针的重要结构参数,是影响最终针刺密度的影响因素之一。刺针类型的差异在于刺针工作段长度、棱边上钩次的数目等参数各不相同。相同的工艺参数对于不同类型的刺针将出现不同的针刺结果,图2为C222和C333型刺针在针刺深度为12mm时单层针刺密度与最终针刺密度的差异,不同针型间的针刺密度、针刺深度、最终针刺密度等参数不具有可比性。

从图2可知,相同针刺工艺参数下,C222型刺针对应的最终针刺密度较低,对碳布的损伤相对较小,

因此,在预制体性能相同的前提下,从尽可能保留碳布强力的角度出发,宜选择 C222 针型。

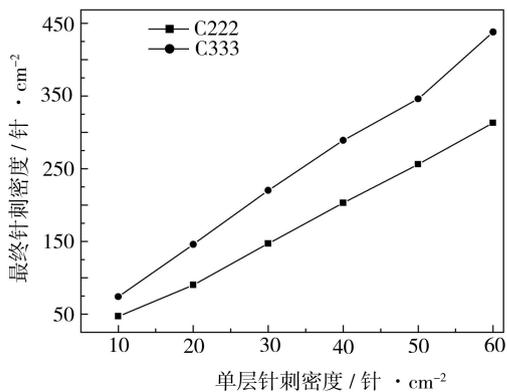


图2 针型对最终针刺密度影响

Fig.2 Influence of needle type on final needle punching density

2.2.4 最终针刺密度

针刺后碳布拉伸强力与最终针刺密度密切相关。根据最终针刺密度与单层针刺密度、针刺深度的换算公式^[2]可知,最终针刺密度由单层针刺密度、针刺深度决定。本文研究了不同针刺深度、针刺密度与最终针刺密度之间的关系,如图3所示。

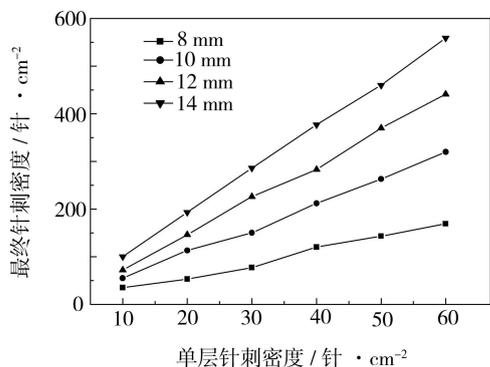


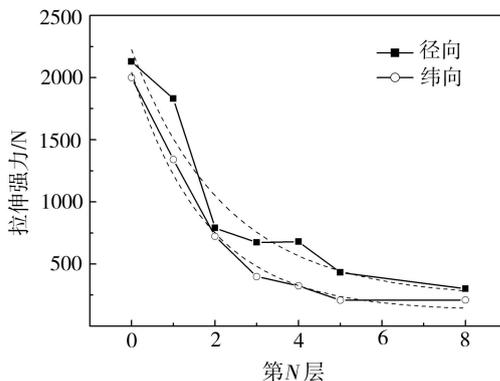
图3 针刺密度、针刺深度与最终针刺密度

Fig.3 Influence of needle punching density and depth on final needle punching density

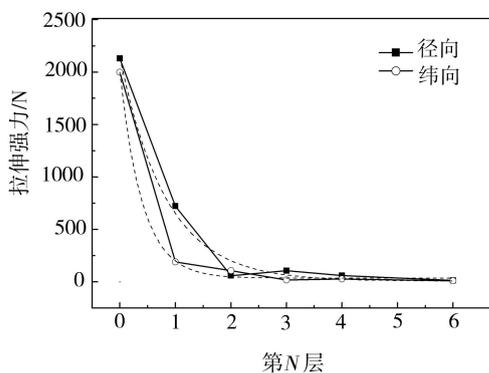
2.3 针刺后碳布拉伸强力

不同类型碳布经针刺后,取不同层的碳布进行拉伸强力测试,并将各层拉力与该层数进行绘图。图4为3K平纹碳布在针刺密度分别为22、32针/cm²时的各层的拉伸强力。

对于同一种类型碳布而言,针刺密度越大,碳布拉伸强力越小。这是因为针刺密度越大,刺针在穿刺时划伤、切断的碳布纤维越多,对碳布纤维的损伤越大,导致碳布的拉伸强力越小。



(a) 22 针/cm²



(b) 32 针/cm²

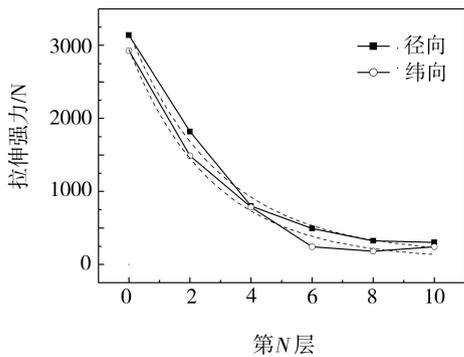
图4 3K平纹碳布针刺后拉伸强力

Fig.4 Curves of tensile stress of 3K plain carbon cloth needed when the needle punching density was 22 and 32 n/cm⁻²

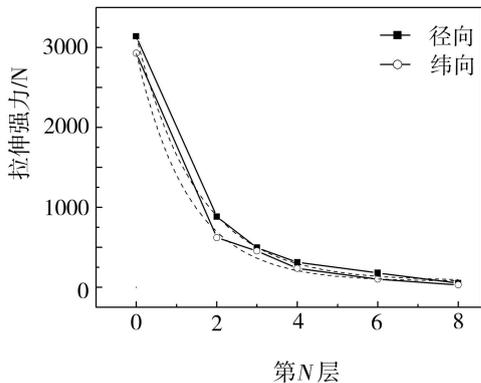
图5、图6为3K斜纹碳布、3K缎纹碳布在针刺密度分别为26、32针/cm²时各层的拉伸强力。

碳布拉伸强力保留率可以反映针刺后碳布的性能。经过对碳布针刺后拉伸强力保留率的计算发现,3K平纹碳布的经、纬向拉伸强力保留率相差较大,强力保留率较低。3K斜纹碳布和3K缎纹碳布经、纬向拉伸强力保留率相差较小,变化趋势一致。相同针刺密度和深度下,对于同一层碳布而言,所有碳布中3K斜纹碳布的强力保持率最高,如针刺密度为26针/cm²时,所选取的第二层、第四层、第六层、第八层及第十层的经向拉伸强力保留率分别达到了58.0%、25.5%、15.7%、10.4%和9.7%,各层纬向拉伸强力达到了50.9%、26.8%、8.3%、6.2%和8.3%;针刺密度为32针/cm²时,所选取的第二、三、四、六、八层的经向拉伸强力保留率分别为28.1%、15.8%、10.0%、5.7%及1.6%;纬向拉伸强力保留率为21.2%、15.6%、8.1%、3.5%及1.1%。同时,

3K 斜纹碳布的经、纬向拉伸强力相差最小。



(a) 26 针/cm²



(b) 32 针/cm²

图 5 3K 斜纹碳布针刺后拉伸强力

Fig.5 Curves of tensile stress of 3K twill carbon cloth needed when the needle punching density was 26 and 32 n/cm²

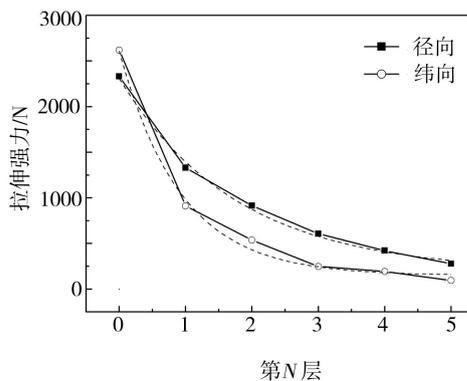
从图 4(b)、图 5(b)、图 6(b) 的对比中可以看出,三种不同类型的碳布在相同的针刺密度下,3K 斜纹碳布的拉伸强力递减速率低于 3K 平纹碳布和 3K 缎纹碳布,这除了与 3K 斜纹碳布本身拉伸强力大有关外,还与 3K 斜纹碳布的结构有关。3K 斜纹碳布经纬纱的交错次数比平纹碳布少,织物更加紧密,纱线间的握持力大大提高,使得斜纹碳布具有较好的结构稳定性。这种稳定性使得斜纹碳布在针刺过程中由于碳布结构变形而造成的纤维摩擦损伤比平纹碳布和缎纹碳布要小,因此较好地保持了纤维的拉伸性能,使得碳布整体的拉伸强力的降低幅度较小。

从图 4 ~ 图 6 可看出,不同类型的碳布在不同针刺密度下所选取各层的拉伸强力呈指数递减的趋势。在一定的针刺密度下,不同类型的碳布针刺后的拉伸强力可以用函数 $y = A_1 \times e^{-x/t_1} + y_0$ 来模拟,其中 A_1 、 t_1 、 y_0 为常数。 A_1 与碳布未针刺前经、纬向拉伸强力有

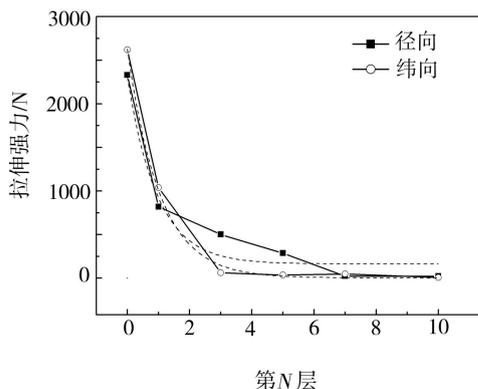
关, y_0 与达到最终针刺密度时碳布的拉伸强力有关。不同类型碳布拉伸强力模拟常数如表 2 所示。

此外,将图 4 ~ 图 6 中的拟合曲线外推可以发现,三种织物的拉伸强力从某一层开始趋于稳定,这与该层的最终针刺密度有关。通过单层针刺密度与最终针刺密度的换算公式^[3]可以计算出每种织物拉伸强力趋于稳定时的最终针刺密度及达到最终针刺密度时的层数。当该层最终针刺密度达到一定值时,该层不再被针刺,碳布纤维受到的损伤达到最大值,碳布的拉伸强力理论上不再发生变化。因此,在给定的单层针刺密度下,使用拉伸强力模拟函数计算出达到最终针刺密度后某一层的拉伸强力模拟值,并与测量值对比,如表 3 所示。

通过计算最终针刺密度来预测某一层的拉伸强力,为预制体力学性能提供一定程度的参考,这一规律对于选择针刺密度、针刺深度等工艺参数具有较大借鉴意义,通过此规律可以针对不同类型碳布制定出更合理的针刺工艺,能够实现对预制体的性能更精细的控制。



(a) 26 针/cm²



(b) 32 针/cm²

图 6 3K 缎纹碳布针刺后拉伸强力

Fig.6 Curves of tensile stress of 3K satin carbon cloth needed when the needle punching density was 26 and 32 n/cm²

表2 针刺后碳布拉伸强力模拟函数常数表

Tab.2 Parameters of tensile stress simulation functions of needled carbon cloth

织物类型	针刺密度 /针·cm ⁻²	方向	A ₁	t ₁	y ₀
3K 平纹碳布	22	经向	1998.627	2.258	226.336
		纬向	1921.273	1.789	121.609
3K 平纹碳布	32	经向	2132.629	0.835	7.214
		纬向	1964.878	0.403	34.734
3K 斜纹碳布	26	经向	3045.329	2.971	129.413
		纬向	2882.510	2.744	62.367
3K 斜纹碳布	32	经向	3057.978	1.510	80.215
		纬向	2850.467	1.312	73.935
3K 缎纹碳布	26	经向	2121.733	1.767	189.375
		纬向	2460.497	0.925	147.717
3K 缎纹碳布	32	经向	2143.408	0.958	163.405
		纬向	2626.439	1.038	119.439

表3 针刺后碳布拉伸强力稳定时最终针刺密度
Tab.3 Final needle punching density of needled carbon cloth

织物类型	方向	单层针刺密度 /针·cm ⁻²	最终针刺密度 /针·cm ⁻²	达到最终针刺密度的层数	拉伸强力模拟值 /N·25mm ⁻¹	拉伸强力测试值 /N·25mm ⁻¹
3K 斜纹碳布	经向	26	327	第10层	234.57	204
	纬向				137.71	91
3K 斜纹碳布	经向	32	375	第7层	95.51	50.9
	纬向				80.34	30.8
3K 缎纹碳布	经向	26	303	第10层	196.77	148.9
	纬向				147.77	115.2
3K 缎纹碳布	经向	32	397	第8层	163.46	121.6
	纬向				120.62	75.3

3 结论

通过研究不同机织结构碳布针刺前、后的拉伸性能,可以得出以下结论。

(1) 针刺密度是影响针刺后碳布拉伸强力的主要因素,最终针刺密度决定了碳布拉伸强力的测量值小于实际值。在一定的针刺工艺下,碳布各层拉伸强力可以用函数 $y = A_1 \times e^{-x/t_1} + y_0$ 来模拟,其中 A_1 、 t_1 、 y_0 为常数。

(2) 在相同的针刺密度及针刺深度下,3K 斜纹碳布具有较高的拉伸强力、较大的拉伸强力保留率,因此,3K 斜纹碳布的针刺工艺性最好。

(3) 碳布的拉伸强力保留率与针刺密度密切相关。针刺密度越大,对碳布造成的损伤越大,碳布的拉伸强力保留率越低。当针刺密度为 26 针/cm²时,3K 斜纹碳布经、纬向的拉伸强力与未针刺时相比分别下

降了 42.0% 和 49.1%;当针刺密度为 32 针/cm²时,其经、纬向拉伸强力则分别下降了 71.4% 和 78.8%。

参考文献

- [1] 益小苏,杜善义,张立同. 中国材料工程大典第10卷 复合材料工程[M]. 北京:化学工业出版社,2006
- [2] 李飞. C/C 复合材料锥形预制体针刺成型工艺研究[D]. 西安航天复合材料研究所,2004
- [3] 李飞,刘建军,程文,等. 工艺参数对炭/炭复合材料针刺预制体力学性能的影响[J]. 炭素,2004(1): 52-56
- [4] 刘丽芳,王卫章,储才元. 针刺工艺参数对非织造布性能的影响[J]. 产业用纺织品,2001, 19(11): 3-8
- [5] 张晓虎,李贺军,等. 针刺工艺参数对碳布网胎增强 C/C 材料力学性能的影响[J]. 无机材料学报,2007,22(5): 963-968

(编辑 任涛)