

针刺技术在 C/C 复合材料增强织物中的应用

刘建军¹ 李铁虎² 郝志彪¹ 李飞¹ 嵇阿琳¹

(1 西安航天复合材料研究所, 西安 710025)

(2 西北工业大学材料科学与工程学院, 西安 710072)

文 摘 在介绍刺针功能的基础上, 论述了针刺技术用于 C/C 复合材料增强织物成型的原材料特点、工艺与应用等。分析表明, 刺针的结构对于纤维引入有重要影响, 合理选用刺针是针刺 C/C 复合材料增强织物复合成型的基础; 针刺增强织物中材料成分、刺针和工艺的多样性, 使得针刺增强织物具有相当的可设计性。

关键词 针刺, 纤维, 增强织物

Application of Needling Technology on Reinforced Fabrics of C/C Composite Materials

Liu Jianjun¹ Li Tiehu² Hao Zhibiao¹ Li Fei¹ Ji A lin¹

(1 Xi 'an Aerospace Composite Materials Institute, Xi 'an 710025)

(2 College of Materials Science and Engineering, Northwestem Polytechnical University, Xi 'an 710072)

Abstract In this paper, needle function is introduced and raw material property, process and application of needled C/C composite fabrics are discussed. The analyses show that fibers carried to z direction are affected by needle structure, the variety of material properties, needle and process are conducive to the programmable characteristics of needle punching composite fabrics.

Key words Needling, Fiber, Reinforced fabric

1 前言

针刺技术是通过刺针对纤维布、网胎或复合叠层材料进行接刺, 依靠倒向钩刺把纤维层中的部分水平纤维携带至 z 向, 产生垂直纤维簇, 使碳布和网胎相互缠结, 相互约束, 形成平面和 z 向均有一定强度的准三维独特网络结构预制体。由于针刺 C/C 复合材料增强织物的特殊结构, 从而使其克服了 2D 碳布叠层材料层间缺乏连接的缺点, 具有孔隙分布均匀、易致密成型、较高的面内和层间强度等特点, 已成为一种具有广泛应用前景的 C/C 复合材料预制体, 并可用做其他复合材料增强预制体^[1~4]。

从 20 世纪 70 年代以生产碳纤维的原丝作为针刺的材料开始, 因制作成本低、易于制作复杂型面制品, 原材料和针刺工艺不断得到改进, 目前已从丙烯腈原丝网胎针刺发展到利用碳纤维作为针刺的原材料。由于针刺增强织物中材料构成成分、刺针和工艺的多样性, 使得针刺增强织物具有相当的可设计性,

可成型平板、锥体、圆筒等, 应用领域不断拓展, 如飞机刹车盘、固体火箭发动机喉衬、扩散段以及其他高温领域用 C/C 复合材料增强预制体。

2 刺针的结构与作用

2.1 刺针的结构

刺针的作用是在预针刺和主针刺过程中, 将 xy 平面内的纤维引入到 z 向上以达到对该方向的增强, 刺针的结构对于纤维引入有重要影响, 合理选用刺针是针刺复合织物成型工艺的基础。常见刺针的结构如图 1 所示。

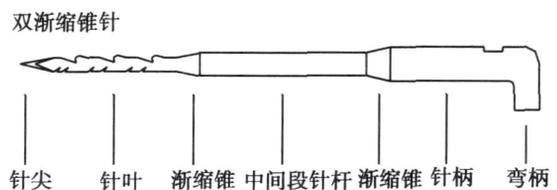


图 1 刺针的结构

Fig 1 Structure of needle

收稿日期: 2008 - 02 - 15

作者简介: 刘建军, 1970 年出生, 研究员, 主要从事碳/碳复合材料工艺与应用研究。E - Mail: ljjun308@sohu.com

针尖的主要作用是协助工作段更容易刺入制品中。针叶是刺针的主要工作部位,针叶直径(截面高度)、针叶长度、针叶截面形状是针叶的重要参数。针叶的直径决定刺针的强度并影响针体弹性。针叶的长度取决钩刺间距和钩刺数目,同时对针体的弹性产生影响。针叶的截面形状一般为等边三角形或等边三角形的改进形、圆形等,它对刺针是否能够均匀承受来自各个方向的扭曲力非常重要。渐缩锥的主要作用是增加针体弹性。渐缩锥个数越多、长度越长,针体弹性越好。常见刺针有单渐缩锥针和双渐缩锥针两种。由于针刺过程中刺针所承受的来自各方向应力不平衡,使用弹性较好的针体可降低断针率。

钩刺是刺针携带纤维的部位,是刺针最重要的部位。依据钩刺间距大小,刺针可分为 R、M、C、F、S 型,间距大小决定了纤维相互缠结程度和阻力大小。钩刺形状主要采用三维成形的 HL 和 RF 形,在加工时修圆边缘,以减少对纤维的损伤,延长刺针寿命。钩槽深度、钩槽长度、齿突高度和下切角度是钩刺的重要参数,它决定了钩刺每次针刺所能握持的纤维数量,进而决定了针刺时引入纤维束中纤维的数量,它对于预制体的力学性能起决定作用,同时也影响预制体的平整度。常见的钩刺结构见图 2。

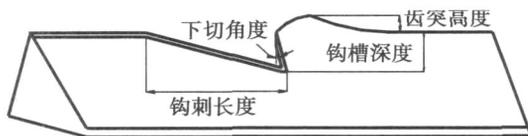


图 2 钩刺结构

Fig 2 Barb structure

2.2 刺针的作用

刺针经过反复穿刺,把部分水平纤维通过钩刺的“携带”作用引入到垂直方向上,这些纤维与水平方向上的纤维相互缠结、相互约束,形成了具有一定强度和独特结构的预制体。

钩刺穿刺网胎时首先接触的是网胎表面层纤维,此时钩刺的抓取、容纳能力最强,随着针刺深度的增加,钩槽逐步为网胎表面层纤维所充满,继续下刺,钩刺的握持能力便明显下降。对于针叶上各钩刺,由于位置关系,进入网胎的次序有先有后,所面对的网胎结构也因前面钩刺对网胎的作用而不同,接触各层次纤维的机率不同,在一定针刺深度下,先进入纤维网的钩刺到达的位置较深,所携带的纤维转移程度也较大^[5-6]。图 3 为不同网胎纤维层的转移情况示意图。

刺针钩刺在对网胎中纤维抓取、携带的过程中同时存在着对纤维的损伤。对于所引入的纤维,随针刺深度的增加,钩刺所握持的纤维受到的牵拉力、挤压力不断增大,钩刺的棱角、毛刺对纤维也出现较大的损伤,在提高纤维转移数量的同时应尽量避免纤维损伤

。一般来讲,针叶粗、钩刺大的刺针对纤维损伤较大;制品密度大,刺针穿刺时阻力大,纤维损伤也会增加;刺针深度过大,被握持纤维的断裂会增多;针刺频率过大,纤维受到的冲击力大而易被损伤。

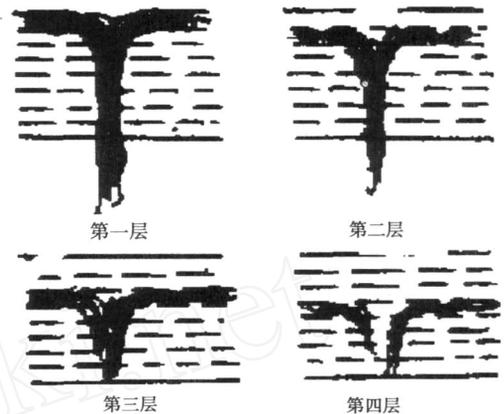


图 3 不同网胎纤维层的转移情况

Fig 3 Fibers transference of varying web layer

2.3 刺针选用基本原则

- (1) 针体需具有足够的刚性,同时应兼具一定的韧性和弹性;
- (2) 合理的棱边齿数和齿距;
- (3) 合理的钩刺几何形状及参数。

3 纤维的特性、针刺工艺与应用

纤维本身性能决定了其针刺工艺性能,纤维本身强度越高、断裂伸长率越大、纤维表面越光滑、截面形状越规则,纤维承损能力就越高。针对纤维的特性,应合理选用刺针及工艺,以减少对纤维的损伤。

以黏胶丝、聚丙烯睛短纤等作为原材料是早期针刺制备 C/C 复合材料增强织物的主要方式,因黏胶丝、聚丙烯睛短纤较高的强度、断裂伸长率、抗摩擦等而在针刺过程中具有较高的抗损伤容限能力,针刺工艺性较好,但由于在后续的碳化过程中织物的收缩形变较大,织物性能的可控性较差,目前主要在保温碳毡材料中少量应用之外,已很少作为针刺 C/C 复合材料增强织物的原材料。

聚丙烯睛预氧化纤维具有适中的强度、断裂伸长率和抗针刺损伤能力,因而作为针刺技术的原材料目前被广泛应用,技术相对成熟。聚丙烯睛预氧化纤维应用主要包括短切纤维和预氧化纤维布的应用。纤维短切的工艺包括纤维短切、梳理成网以及叠层(铺层、缠绕)接力针刺,必要时在纤维制备时可对纤维进行卷曲处理以提高针刺的工艺性能。叠层的方式可以是网胎叠层、也可以是网胎和预氧化纤维布、碳布的复合叠层。预氧化纤维布、碳布可以根据不同的需要来选用,如 3K、6K、平纹、斜纹、无纬布等,用于织物平面内强度的增加和纤维体积分数的提高,主要取决于制品的功能应用。

预氧化纤维布以法国 NOVELTEX 针刺技术为代表,为法国 SEP 公司专利,发展于 20 世纪 80 年代末期,主要是为解决 2D SEPCARB 产品的各向异性、低层间剪切强度、厚壁制品的分层和裂纹缺陷等问题^[7-8]。其预制体成型方法是采用 PAN 预氧化纤维缎纹布,利用倒钩针将层面纤维挂入垂直方向,而在退针时纤维停留在原位。NOVELTEX 针刺技术突出优点是能制造低成本的 C/C 复合材料;易于工业化;适用于生产厚度方向变化大、复杂形状和需要敏感机加的部件;使 C/C 复合材料各个方向具有良好的力学性能,包括螺纹连结需要的高剪切强度等^[9-10]。

基于上述优点和预制体的成型工艺,Noveltex 的这种织物也被称作超细 3D 非编织碳织物,在平板和锥形预制体上大量应用。下面分别给出了 Noveltex 针刺技术原理和设备原理示意图。事实上,每一种形状的制品如圆柱体、锥形、钟形以及平板等均设计有专门的设备,其制品的最大尺寸可达 7 000 mm × 2 500 mm × 60 mm,轴对称最大出口的外径可达到 2 600 mm^[8]。在针刺完毕后,通过热处理使制品转化为碳纤维织物。图 4 和图 5 分别为针刺技术原理和设备原理示意图。

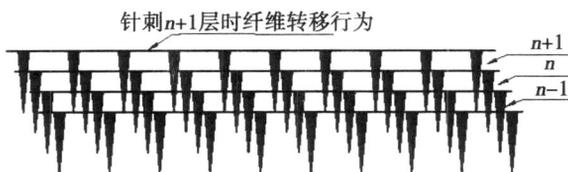


图 4 针刺技术原理示意图

Fig 4 Needling process

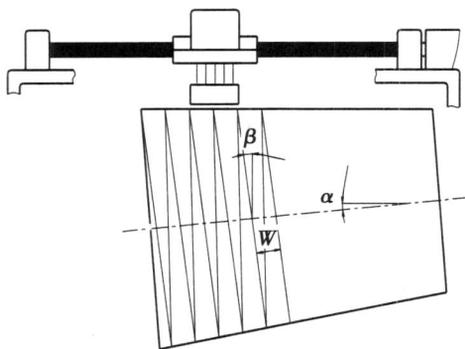


图 5 针刺设备原理示意图

Fig 5 Fabrication setup for production

为主轴调整角;为缠绕角;w 为缠绕带宽。

由于预氧化纤维本质上仍属于有机纤维系列,因此使用预氧化纤维制作的预制体需进行碳化处理,在碳化处理过程中产生的收缩可能导致严重形变,特别是对内型面复杂、不易加工的制品,型面要依靠碳化芯模或机加保证,技术上难度较大;由于纤维碳化是在无张力的情况下进行,最终形成的碳纤维强度较低;受碳化产率的影响,最终制品的纤维体积分数较

低,一般为 8% ~ 15%,因此,寻求使用碳纤维直接针刺成型是针刺技术新的进展^[11]。为克服这一缺点,SEP 发展了以碳纤维为原材料的针刺工艺,取名为 Naxeco,而工艺所用的设备仅需在 Noveltex 设备基础上做适应性改造。和 Noveltex 相比,Naxeco 材料纤维体积分数提高到 35% 左右,可降低最终制品的烧蚀率;省去了高温碳化工艺,节省时间和经费;纤维力学性能提高,可提高最终制品性能和可靠性等^[9-10,12]。

目前,碳纤维针刺工艺已发展较为成熟并开始大量应用。碳纤维的针刺应用也包括短切纤维和纤维布的应用,使用的原理和方法与预氧化纤维相同。由于断裂伸长率较低使得网胎梳理和针刺的工艺性较差,表现在纤维抗针刺损伤能力较低、纤维导入的长度较短。为解决上述问题,需在针刺前对纤维进行增韧处理,提高梳理和针刺性能。

4 结语

各类针刺 C/C 复合材料作为一种较为先进的材料技术,已在固体火箭发动机 C/C 喉衬、C/C 扩张段、飞机 C/C 刹车盘上等广泛应用,并占有主导产业地位。此外,针刺 C/C 复合材料技术可用以成型 C/C 复合材料发热体、隔热屏、异性支架及其他结构和功能件,但在针刺及后续复合工艺研究深度和广度上,特别是碳纤维作为原材料的针刺工艺上有待突破。

参考文献

- 曹云海. 飞机碳刹车盘用针刺毡的研究. 航空精密制造技术, 1995; 31 (2): 32 ~ 34
- 陈腾飞等. 航空刹车用 C/C 复合材料坯体结构的研究. 矿业工程, 2002; 22 (1): 69 ~ 71
- Boury D, Munoz, Albert A. Ariane5 SRM nozzle evolution A AA2002 - 4193
- 苏君明, 崔红, 李瑞珍等. 新型针刺碳布 C/C 复合材料的结构与性能. 新型碳材料, 2000; 15 (2): 11 ~ 15
- 王幼农. 刺针的选择与使用. 产业用纺织品, 1999; (1): 33 ~ 36
- 张瑜. 针刺机理研究. 纺织学报, 1996; 17 (5): 49 ~ 53
- Montaudon M, Fenoy F, Christin F et al Noveltex textures for the most structural materials A AA91 - 1848
- Boury D, Filpuzzi L. SepcarbTM materials for solid rocket booster nozzle components A AA01 - 3438
- Broquere B H. Carbon/Carbon nozzle exit cones: SEP 's experience and new developments A AA97 - 2674
- Marc Montaudon Ariane 5 SRM carbon-carbon nozzle throat development result A AA95 - 3061
- 王忠. 针刺碳纤维毡生产工艺初探. 新型碳材料, 1996; 11 (4): 35 ~ 36
- Lacoste M, Lacombe A, Joyez P et al Carbon/Carbon extendible nozzle. Acta astronautica, 2002; 50 (6): 357 ~ 367

(编辑 任涛)