

碳化硅纤维长丝机织预制件织造关键技术

Key Weaving Technology of Woven Fabrication of the Silicon Carbide Filament

高性能陶瓷纤维国家地方联合工程研究中心
苏州赛菲集团有限公司
江苏省高性能陶瓷先驱体及其复合材料工程中心

田秀梅 马晓东 张博 田西锋 赵玉梅

[摘要] 碳化硅 SiC 纤维具有高强度、高模量、耐高温等特性,主要用于耐高温材料和复合材料增强相,但因其脆性大,织造过程易起毛、断裂,故较难实现自动化织造。分析了碳化硅纤维的性能及对织造过程带来的困难,介绍了赛菲集团碳化硅纤维长丝织造的专用设备,重点介绍了其整经和多经轴送经系统以及碳化硅纤维长丝结构工艺设计的要领。

关键词: 碳化硅纤维长丝 机织 2.5D 结构

[ABSTRACT] Silicon carbide fibers with high strength, high modulus, high temperature resistance and other properties are used for high temperature resistant materials and composites reinforced phase. But due to its brittleness, fiber is easy to fluff and fracture in weaving process. So it is difficult to realize automation weave. The article analyzes the performance of silicon carbide fibers, and the difficulties in the process of weaving, and introduces the special equipment of weaving silicon carbide filament, mainly introduces the beaming and multiple beam let-off system and the essentials of the silicon carbide filament structure.

Keywords: Silicon carbide filament Weaving 2.5D structure

碳化硅纤维长丝采用机织的方式织成的织物具有经、纬密的均匀性好,变异系数小,织物参数可控的优点。此外,与编织、缝合、穿刺等生产方式相比,机织的生产效率更高,能耗更少,成本更低。三维机织物可作为复合材料的预制件,但因碳化硅纤维脆性大,织造过程中易出现起毛、断裂等问题,如何在织机上实现碳化硅纤维长丝预制件的稳定生产,成为近年来复合材料研究领域的重要课题之一。

1 碳化硅纤维长丝织造关键技术

碳化硅纤维长丝通过织机可制成复合材料预制件,

但碳化硅纤维直径粗、脆性大、织造过程易起毛、断裂,因此织造过程中控制点多、难度大^[1],目前国内碳化硅纤维长丝机织物织造还不成熟,主要存在以下几个方面的问题:

(1) 织物的经密与纬密设计不合理,成型结构不稳定,外观不平整;

(2) 上机经纱张力控制不均匀,导致纬纱歪扭明显,严重的可能导致断经;

(3) 纬纱张力不稳定,造成布边疏密不匀、脱边等不良现象;

(4) 开口不清,造成织造断纱;

(5) 卷取缠绕方式不合理,造成布面抖动,布卷成型不良;

(6) 布边设计的不合理,边纱的张力大小和施加方式,边纱的穿入方式控制不合理,造成荷叶边、卷边等不良现象。

针对以上问题,苏州赛菲集团组织技术人员进行研究与攻关,主要在以下几个方面进行改造,基本解决了碳化硅纤维长丝织造过程的关键技术问题。

1.1 整经和多经轴送经系统

整经是碳化硅纤维长丝织造的准备阶段,其工艺参数的设定和控制是关键。碳化硅纤维断裂伸长小、弹性低、脆性大,整经过程中经纱张力过大会出现毛丝、叉丝,因此经纱通道要保持全程通畅且足够光滑,筒子架上的所有丝筒结构紧凑,保持张力恒定。整经采用分批整经的方法,即将全幅织物所需总经根数分成若干经轴,将其放置在多经轴送经机架上,实现可持续送经,满足织造要求。送经方式为被动送经,依靠织机卷取机构实现送经,通过气动控制经轴张力,每个经轴气压控制在 0.2MPa 内。

苏州赛菲集团采用的整经机可实现整经速度 5m/min,不会因速度过快而造成卷绕不匀。采用多经轴分批整经,每根经纱经导纱杆牵引通过特制的瓷眼引出,且筒子整体按照 V 行排布,保证了丝筒之间不分绞。筒子架上的丝经过伸缩箱、导纱辊后卷绕在经轴上,整个过程中

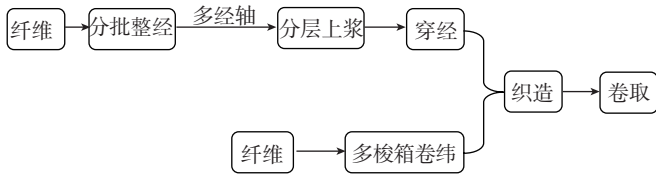


图1 织造工艺流程
Fig.1 Process of weaving

各接触面光滑。整经过程中经轴表面平整,卷绕密度合适而均匀,整经张力适当且恒定。整个整经过程实现张力、排列、卷绕三均匀。

1.2 专用织造设备的研究

由于碳化硅纤维的特殊性能,织造碳化硅纤维长丝须采用专用的织造设备。苏州赛菲集团改进的2.5D多功能刚性剑杆织机,采取四梭升降织造,气缸控制剑杆引纬,且剑杆引纬设有缓冲装置。织造工艺流程见图1。

织机采用刚性剑杆,最大限度地避免了布面起毛^[2]。其主要特点是不需要任何引导装置就可将纬纱传输到织口中心位置,设备占地面积小。设备的核心可调工艺控制参数包括:织机车速、上机张力、综平时间、织造开口等。

由于碳化硅纤维延展性差,故施加张力时要有适宜的控制点,一方面保证多经轴架上气压控制稳定,在经纱分层时实施上浆工艺,避免起毛。钢筘打纬的过程也会对织造产生负面影响,为减少经纱通过钢筘时筘齿磨毛经纱,在保证经密要求的基础上要增加穿入数,减小筘号。

织造过程中,梭子中卷绕所需纬纱,引纬依靠剑杆来回抓取梭子,由于引纬承受张力对边纱容易造成损伤,需要按照织物组织结构设定边纱。碳化硅纤维模量高、脆性大,且无法承受较大的剪切力,因此不能用作边纱,需选取特定纱代替,同时要控制好边纱根数等参数,保证在循环引纬时顺利形成光边。

织造过程中,后梁高低、胸梁位置会影响各层经纱张力及开口控制,故碳化硅纤维要选取合适的调节位置,才

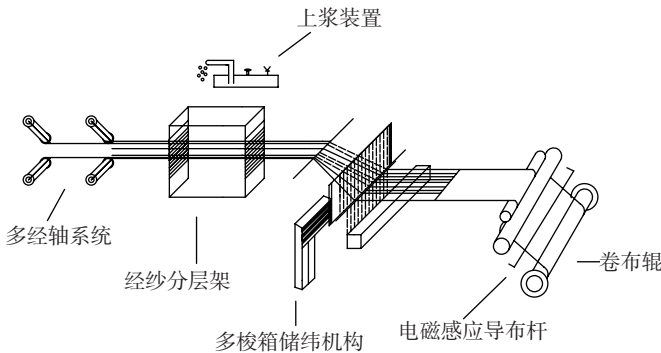


图2 织造示意图
Fig.2 Weaving diagram

有利于纤维的织造。织机采取被动送经,卷取机构的选取是控制经纱张力的关键,一般采取的独立步进电机传动、积极式卷取,可实现变纬变密卷取;上下辊夹持配合织机程序卷布,卷取收布另外增设一个电磁感应卷取辊,通过张力杆控制成品布卷取。织造示意图(见图2)。

1.3 织物结构工艺设计

碳化硅纤维长丝的织造是在织物结构工艺设计的基础上实现的,大多采用2.5D多层织物。

2.5D多层织物设计是通过经纱上下移动,与多层纬纱交织,得到角联锁组织^[3]。角联锁包括层间角联锁和贯穿深度角联锁。通过增加经纬纱交织的数目设计出更多角联锁结构,例如带衬经、衬纬的角联锁结构等^[4]。

在实际织造时,综框上下运动易与碳化硅纤维产生摩擦,从而引起起毛、断裂等现象。因此,在设计织物结构时,要考虑到提综顺序,保证织造前后两纬升起、降落的综框落差不要太大,即在设计角联锁结构的时候可以通过考虑更换纬纱的顺序来调节。

苏州赛菲集团SiC纤维长丝机织预制件如图3所示。由于2.5D机织碳化硅纤维在3个方向实现成型,配



(a) 平纹单层织物



(b) 2.5D浅交直联织物

图3 连续SiC纤维自动化机织制品

Fig.3 Automatic ally woven products of continuous silicon carbide fibers

合纤维粗细、织物密度及复合用料,可以满足不同的力学性能要求。所制作的各向异性结构的增强复合材料,是其他金属无法比拟的。

随着对2.5D机织物需求量的增加,在专用织机上研

究 2.5D 机织碳化硅纤维的设计和织造具有重要意义^[5]。

2 碳化硅纤维长丝机织物应用的研究

整体织造出来的碳化硅纤维预制件,有效地避免了后续加工过程中对纤维的损伤,提高了构件的损伤容限,加工纤维身具备优异的性能,因此,在武器装备、建筑、汽车、电子产品等领域有广泛的应用:

(1)耐热材料:如汽车尾气处理中的脱尘、脱硫装置、高温输送带、航天飞机柔性放热材料、过滤器、催热机载体等;

(2)高强度耐磨材料:如汽车或飞机用刹车盘;

(3)复合材料增强相:机织碳化硅纤维用于树脂、金属基、陶瓷基复合材料,可用于制造防弹衣插板,雷达天线罩和飞行器的结构材料;

(4)抗盐雾材料:机织各种结构的碳化硅纤维布主要用于轮船构件等耐盐雾、海水腐蚀;

(5)隐身材料:机织 2.5D 碳化硅纤维因增加了织物厚度,使材料吸波性能提高,用于各种结构吸波材料。

3 结束语

通过对碳化硅纤维长丝性能及织造过程的研究,分析了碳化硅纤维织造过程中的难点及改进关键技术。通过对连续碳化硅纤维长丝织造技术的研究,解决了碳化硅纤维的编织问题,为连续 SiC 纤维在高性能复合材料方面应用打下基础,同时也能及时指导上游纤维制造工序共同改进 SiC 纤维的可编织性。未来,企业将不断改进碳化硅纤维长丝的织造技术,开发更多更好的碳化硅纤维预制件产品,为我国新材料界特别是高性能纤维复合材料在航空航天上应用作出应有的贡献。

参考文献

- [1] 崔俊芳. 三维机织物织造方法的研究[D]. 天津:天津工业大学,2002.
- [2] 李英富. 碳纤维布的织造及其应用. 新材料产业,2010(4): 32-34.
- [3] 卢士艳,聂建斌. 角度连锁三维机织物的设计与生产. 棉纺织技术,2005,33(2): 72-75.
- [4] 杨彩云,李嘉禄. 复合材料用 3D 角连锁结构预制件的结构设计. 天津复合材料研究所.2005.
- [5] 曹海建,钱坤,李鸿顺. 2.5D 机织复合材料的设计与织造. 上海纺织科技,2009,37(1): 12-18.

(责编 亿霖)

(上接第 78 页)

- organometallic polymers. Adv Mater, 1990, 2(9): 398-404.
- [9] Kotani M, Inoue T, Kohyama A, et al. Effect of SiC particle dispersion on microstructure and mechanical properties of polymer-derived SiC/SiC composite. Materials Science and Engineering: A, 2003, 357(1-2): 376-385.
 - [10] Kotani M, Inoue T, Kohyama A, et al. Consolidation of

polymer-derived SiC matrix composites: processing and microstructure. Composites Science and Technology, 2002, 62(16): 2179-2188.

[11] Kohyama A, Kotani M, Katky Y, et al. High-performance SiC/SiC composites by improved PIP processing with new precursor polymers. Journal of Nuclear Materials, 2000, 283-287: 565-569.

[12] Kotani M, Katoh Y, Kohyama A, et al. Fabrication and oxidation-resistance property of allylhydridopolycarbosi-lane-derived SiC/SiC composites. Journal of the Ceramic Society of Japan, 2003, 111: 300-307.

[13] Nannetti C A, Ortona A, Dario A, et al. Manufacturing SiC-fiber-reinforced SiC matrix composites by improved CVI/slurry infiltration/polymer impregnation and pyrolysis. Journal of the American Ceramic Society, 2004, 87(7):1205-1209.

[14] Dong S M, Katoh Y, Kohyama A, et al. Microstructural evolution and mechanical performances of SiC/SiC composites by polymer impregnationmicrowave pyrolysis (PIMP) process. Ceramics International, 2002, 28:899-905.

[15] Wang Y Q, Cai S Y. Synthesis and Properties of a Liquid Polycarbosi-lane Containing Allyl Groups. Silicon Mater, 2010, 24(2): 85-88.

[16] Wang Y Q. Study on liquid SiC Ceramic Precursor with Si-H and -CH=CH2 active group[D]. Changsha:National University of Defense Technology, 2010.

(责编 小斌)

(上接第 82 页)

011301.

[8] 袁起立,尹建平,姜勇刚. 连续纤维增强陶瓷基复合材料界面研究进展. 高科技纤维与应用,2007,32(1): 23-27.

[9] 蔡利辉,马青松,刘海韬,等. 连续纤维增强碳化硅复合材料界面区研究进展. 硅酸盐通报,2013, 32(5): 5878-5883.

[10] Carrere N, Martin E, Lamon J. The influence of the interphase and associated interfaces on the deflection of matrix cracks in ceramic matrix composites. Composites Part A, 2000, 31(11):1179-1190.

[11] Baroumes L, Bouillon E, Christin F. An improved long life duration CMC for jet aircraft engine application//ASME Turbo Expo 2002: Power for Land, Sea and Air. American Society of Mechanical Engineers, 2002:119-125

[12] 杨大祥,宋有才. 先驱体法制备连续 SiC 纤维的特性及其应用. 兵器材料科学与工程, 2007, 30(6): 64-69.

[13] 焦健,史一宁,邱海鹏,等. 高性能连续碳纤维增强碳化硅复合材料的制备及其高温力学性能的研究. 功能材料, 2011, 42(S3): 401-403.

[14] 于新民,周万城,郑文景,等. 碳界面层制备工艺对 SiC_x/SiC 材料力学性能的影响. 稀有金属材料与工程,2009, 38(S2): 462-465.

[15] 王得印,宋有才,简科. 组成和结构对连续 SiC 纤维电阻率的影响. 无机材料学报,2012, 27(2): 162-168.

[16] Dong S M, Katoh Y T, Kohyama A. Processing optimization and mechanical evaluation of hot pressed 2D Tyranno-SA/SiC composites. Journal of the European Ceramic Society, 2003, 23: 1223.

[17] Rebillat F, Lamon J, Guette A. The concept of a strong interface applied to SiC/SiC composites with a BN interphase. Acta Materialia, 2000, 48(18-19): 4609-4618.

[18] 楚增勇,冯春祥,宋有才,等. 第十二届全国复合材料学术会议论文集: 复合材料-生命、环境与高科技, 中国天津, 2002: 517-520.

(责编 良辰)