

高模量碳纤维低损伤一步预浸缠绕技术*

李 勇 肖 军 邱伟娟 朱 飞

(南京航空航天大学材料科学与技术学院 南京 210016)

文 摘 介绍了针对采用高模量碳纤维缠绕时损伤严重而研制的一项新技术。通过无辊浸胶系统和纤维浸胶后烘道加热装置,不但降低预浸纱制备和退纱缠绕所造成较大的纤维损伤,而且可以实现预浸纱含胶量精确控制及连续浸胶和缠绕,同时大大提高了缠绕效率。

关键词 复合材料,纤维缠绕,高模量碳纤维,预浸纱

One-step Preimpregnated and Wound Technology of High Modulus Carbon Fiber with Low Damage

Li Yong Xiao Jun Qiu Weijuan Zhu Fei

(College of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016)

Abstract One-step preimpregnated and wound technology is developed for reducing processing damage of high modulus carbon fibers with the resin impregnator without roller and drying tunnels heating up for impregnated fiber tow, the damage in prepreg processing and winding with prepregged strands, is not only greatly decreased, but also the accurate control of resin content and continuously impregnating and winding can be realized, which may result in a high winding efficiency.

Key words Composite, Filament winding, High modulus carbon fiber, Prepregged strands

1 引言

目前国内碳纤维(尤其是高模量碳纤维)缠绕复合材料构件主要应用于航天器,如卫星承力筒、支架、太阳能帆板、固体火箭发动机等。除对性能要求较低的部件采用湿法缠绕外,主要采用预浸法缠绕,即先将碳纤维经浸胶槽浸渍树脂烘干后制成预浸纱,然后再缠绕^[1,2]。由于高模量碳纤维很脆,极易损伤,强度降低(强度降低最高可达20%);现有浸胶工艺过程中采用浸胶辊实现浸胶和含胶量控制,

由于胶液黏附作用,纤维与胶辊接触时起毛黏着损伤;目前预浸纱缠绕均采用两步法,对于高模量碳纤维,预浸纱制备收纱、退纱缠绕均造成较大的纤维损伤。本文针对M46/QY8911—体系,以降低纤维缠绕过程损伤、提高生产效率和可靠性为目标,在溶剂法预浸缠绕基础上首次研制出无辊浸胶与施胶量控制、一步预浸连续缠绕的综合低损伤、低成本预浸缠绕技术,并对一步预浸连续缠绕工艺和大滚筒收卷二步预浸缠绕工艺加工的诺尔环(NOL)进行了性

收稿日期:2002-07-18

*国防预研项目:24.2.3.14

李勇,1970年出生,硕士,主要从事复合材料成型工艺研究工作
宇航材料工艺 2002年 第6期

能测试和比较。

2 原料及设备

2.1 原料

原料选用日本东丽公司的 M46J —12K 碳纤维。树脂采用 QY8911 — ,由北京航空工艺研究所研制经过改性的双马来酰亚胺,主要成分是对 4,4 —二苯基甲烷双马亚酰亚胺,以端活性低分子量的聚醚砜作改性剂,其耐温性能高达 230 。

2.2 实验设备

浸胶系统采用自行研制的无辊浸胶系统,该系统保证在浸胶过程中与纤维不接触,从而避免纤维损伤。浸胶后的纤维加温选用长 1 m、功率为 2 kW 的烘道(截面为 80 mm ×150 mm),温度控制采用调压器调节输入电压的高低进行。纤维张力控制采用磁粉离合器型张力控制系统,张力大小通过调整磁粉离合器的直流输入电压进行调节。缠绕设备采用通用仪表车床外加变频无级调速系统实现缠绕模具的无级变速。

3 工艺特征及分析

3.1 预浸纱制备

对于大滚筒预浸缠绕法,纤维与胶辊接触时存在起毛损伤和收退纱过程造成纤维损伤等,而且采用大滚筒过渡晾干存在不能连续制纱和张力控制困难等结症。为此我们采用了浸胶后直接缠绕的一步预浸缠绕方案,运用时温等效原理,将预浸纱制造后的长时间晾制改成烘道短时间烘干,即将传统的预浸纱晾制 48 h 改成用烘道短时间烘干,快速去除纱束中的溶剂。烘道分四段(如图 1 所示),温度采用分区控制,烘道 1 由于纤维束刚浸胶,因此温度不能过高,烘道 2 的温度比烘道 1 略高,烘道 3 温度最高;烘道 4 温度比烘道 3 低。烘道 1、2、3、4 的温度分别为 60 、80 、120 、80 。通过大量的试验,在 60 mm/s 走纱速度的情况下,烘道出来的预浸料挥发分含量为 0.09 % ,说明用烘道烘干制备的预浸料在挥发分含量方面达到了指标值要求 (<2 %)。对 M46J/QY8911 —II 体系,由于 M46J 纤维刚性大、极脆、延伸率小,很难获得预浸纱真实的拉伸强度。通过对原有的国家标准 GB3326 制样方法进行改进,解决预浸纱制备表征技术,获得了预浸纱真实的拉伸强度^[3]。

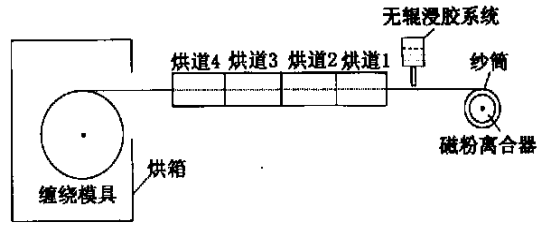


图 1 溶剂一步预浸缠绕系统示意图

Fig. 1 System sketch of one-step winding with impregnated strands

3.2 无辊浸胶技术

浸胶是纤维缠绕制造工艺的重要环节,决定了缠绕纱的浸透程度、含胶量和纤维强度损失。现有浸胶方式有沉浸式、表面带胶(擦胶)式、滴胶式等,对于高模量碳纤维,以上浸胶方式均有一个共同的致命缺点:在浸胶过程中有大量纤维损伤,出现起毛现象,大大降低缠绕纱强度,并干扰缠绕工艺,严重影响缠绕制品的质量。为减少高模量碳纤维浸胶损伤,现行的解决方法是尽可能降低缠绕张力以降低损伤,但不能从根本上解决问题;且由于缠绕张力很低,增加了后续工艺的复杂性和制造成本。针对 M46J 高模量碳纤维,研制了一种无损浸胶技术和相应的新型浸胶器,其原理如图 2 所示。该浸胶器有以下优点:(1)浸胶过程中无纤维损伤、不起毛;(2)浸胶过程中胶液浓度易控制、环境污染小;(3)含胶量均匀可控;(4)系统集成、操作条件好、清洗容易。该浸胶器不仅适合高模量碳纤维,也适合其他纤维缠绕,并可用于制备预浸料浸胶等。

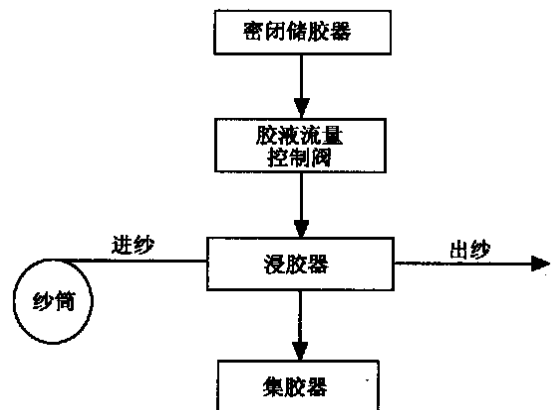


图 2 浸胶器工作原理图

Fig. 2 Schematic diagram of resin impregnator

3.3 预浸纱加温缠绕工艺

从烘道出来的预浸纱到缠绕模具有一定的距离,在这段距离中预浸纱会降温冷却,加上预浸纱中挥发分含量低,预浸纱很脆,直接缠绕到模具上会产生大量的纤维损伤,同时在模具上纱与纱之间不容易贴紧,固化后产生大量的空隙,大大降低了缠绕制品的质量。为了改进这一因素而造成预浸纱和制品的损伤,在模具的外面加上一烘箱,使得预浸纱在缠绕到模具表面之前,先加温使树脂溶化。实际制品缠绕工艺中需要时间很长(约 18 h),且为了在固化过程中进一步挤胶,在缠绕结束前要保证树脂固化度尽量低。在这样的工艺要求下,分别对 QY8911—双马来酰亚胺树脂进行不同的处理,并分别做了 DSC 扫描分析,确定了实际烘箱加热缠绕工艺的最佳温度为 80^[4]。

3.4 NOL 环制备

为了表征溶剂一步法预浸缠绕工艺质量,采用加工 NOL 环并测试它的性能。采用溶剂一步法缠绕即先缠绕圆筒、切割后形成筒切环,可以在同一模具上完成 NOL 环及缠绕张力实验件;NOL 环缠绕机由仪表车床改造,出纱速度由变频器控制主轴转速实现,增加了预浸纱及芯模加热器。为了模拟缠绕制品的实际工艺状态,NOL 环缠绕时由缠绕机直接退纱缠绕,缠绕张力由张力控制系统控制,实测张力为 10 N,出纱速度为 60 mm/s(变频器指示 1.5 Hz),调整胶液密度和滴胶量控制预浸纱含胶量在 67%左右,调整芯模加热器电压使芯模温度在 80(用贴片热电偶接测温仪测量)。

3.5 与大滚筒两步预浸缠绕工艺对比

作为对比,将采用大滚筒两步预浸缠绕法和低损伤一步预浸缠绕法所制备的 M46J/QY8911—II NOL 环强度数据列于表 1 中。由表 1 可见,低损伤一步法预浸缠绕法由于纤维损伤小,强度比大滚筒两步预浸缠绕法高 100 MPa。采用大滚筒两步预浸

缠绕工艺缠绕 90 g 的 150 mm 圆筒件制纱,缠绕需用 25 h,而采用低损伤一步预浸缠绕技术,若缠绕 2 300 g 全尺寸环仅用 15 h,工效提高数十倍且整个工件纤维无中间接头,工艺参数稳定可靠。

表 1 M46J 缠绕 NOL 环强度比较

Tab.1 Comparison between the strength of NOL rings of M46J/ QY8911 - II with two different winding processes

缠绕法	NOL 环强度 /MPa	离散系数 C _v / %
低损伤一步法 预浸缠绕法	2 023	6
大滚筒两步 预浸缠绕法	1 923	12

4 结论

(1)非接触无辊浸胶新方法,从根本上消除了纤维与胶辊接触时造成的黏附损伤。

(2)一步预浸缠绕技术,实现了整个工件的预浸纱制备与制品缠绕一次连续完成,既避免了纱收卷及退卷时造成损伤,又大大提高了加工效率和可靠性。

(3)低损伤一步预浸缠绕技术不仅可用于高模量碳纤维缠绕(如卫星构件),还可以应用于其它纤维缠绕(航空航天器和民用复合材料制品)。

参考文献

- 1 赵渠森. 预浸料技术及其设备. 玻璃钢/复合材料, 1994;1(1): 31~36
- 2 沃西源. 制备 M40/环氧 648 预浸无纬布工艺过程中影响质量的主要因素. 宇航材料工艺, 2000; (4): 34~36
- 3 李勇, 肖军等. M46J 高模量碳纤维预浸 QY8911 纤维束性能研究. 南京航空航天大学学报, 2002;34(3): 266~269
- 4 李勇, 邱伟娟, 肖军. 用差示扫描量热法研究 QY8911—缠绕工艺. 理化检验—物理分册, 2002;38(4): 157~159

(编辑 李洪泉)