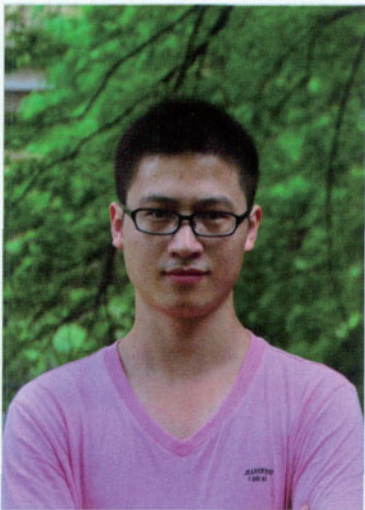


# 热塑性树脂基复合材料 自动铺带技术

Automated Tape Laying Technology of Thermoplastic and Resin-Based Composites

南京航空航天大学 宋清华 文立伟 严 飙 孙 成 肖 军



宋清华

南京航空航天大学复合材料自动化技术研发中心硕士研究生,主要从事热塑性复合材料自动铺带的装备技术、工艺技术以及数控技术的研究。

随着热塑性树脂基复合材料在航空航天、汽车及其他领域应用的不断发展,热塑性树脂基复合材料逐渐被认识,并成为复合材料研究开发的重点之一<sup>[1]</sup>。本研究介绍了国内外热塑性树脂基复合材料的发展现状和趋势,分析了国内外在热塑性树脂基复合材料自动铺带方面的研究现状及其关键技术。

随着热塑性树脂基复合材料在航空航天、汽车及其他领域应用的不断发展,热塑性树脂基复合材料逐渐被认识,并成为复合材料研究开发的重点之一。本研究介绍了国内外热塑性树脂基复合材料的发展现状和趋势,分析了国内外在热塑性树脂基复合材料自动铺带方面的研究现状及其关键技术。

## 热塑性树脂基复合材料发展现状和趋势

与热固性树脂基复合材料相比,热塑性树脂基复合材料具有耐热性高、韧性好、弯曲强度及模量高、层间剪切性能好、吸水率低、预浸料存放期长、易于修补等优点。我国热塑性树脂基复合材料的应用多以短切纤维为主,连续纤维热塑性树脂基复合材料不如热固性树脂基复合材料应用广。高性能、耐高温热塑性树脂基体的工业化生产开阔了热塑性树脂基复合材料的应用前景。

早期热塑性树脂基复合材料所用的增强纤维主要是玻璃纤维,所用的树脂主要是聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等。这类热塑性树脂基复合材料的优点是韧性好、成型工艺简单、

制造周期短;缺点是热变形温度低、刚性差,难以满足航空航天使用材料的要求。因此,英美等国相继开发了耐热和超耐热的树脂基体,称为高性能热塑性树脂,是一类将苯环等刚性基团引入分子结构的芳香族线性高分子物质。刚性基团的引入提高了热塑性聚合物的耐热性能和刚度、强度,而线状链的结构仍保持着热塑性聚合物韧性好、加工方便、可多次成形的特点,因此是一种性能优良且加工方便的复合材料树脂基体。热塑性树脂基复合材料品种不仅与基体树脂、增强纤维的性能有关,而且与纤维增强方式、成型工艺以及设备有关。

随着宇航、汽车、电器、建筑以及与节能有关方面等的发展需要,高性能热塑性树脂基复合材料的研究

和应用也正在不断地发展和完善。从资源及技术经济来看,热塑性树脂基复合材料在材料价格、生产效率、装配、维修费用等方面明显地比热固性树脂基复合材料优越,尽管热塑性树脂基复合材料也并不十全十美,但是在即将到来的复合材料时代中,热塑性树脂基复合材料将扮演举足轻重的角色<sup>[2-4]</sup>。

### 热塑性树脂基复合材料自动铺带技术

复合材料低成本制造技术是目前国际上复合材料技术领域的核心问题之一,包括材料技术低成本、设计技术低成本和制造技术低成本,涉及多种复合材料成型技术,如缠绕成型、自动铺放成型(铺带、铺丝)、拉挤、编织、缝合和RTM等。

自动铺带技术是集预浸带剪裁、定位、铺叠、压实等功能于一体,且具有控温和质量检测功能的复合材料集成化数控成型技术,其铺带头按一定的运动规律,并使预浸带经铺带头传送、切割、加热等操作,在压辊的作用下直接铺敷于模具表面,实现复合材料铺叠自动成型(图1),能够在一定范围内替代原有手工铺叠成型中的复合材料自动剪裁下料系统和铺层激光定位系统等设备<sup>[5]</sup>。

目前,国外在自动铺带技术方面的研究已趋成熟,而国内自动铺带技术研究较晚,在热塑性树脂基复合材料自动铺放方面的研究尚未起步。本实验室在已成功地自主研发多台热固性复合材料自动铺带机及其配套工艺的基础上,对国外目前热塑性树脂基复合材料自动铺放技术进行了深入的理论分析和应用研究。热塑性树脂基复合材料自动铺带技术包括工艺技术、装备技术和CAD/CAM软件技术。其中,工艺技术指通过分析热塑性树脂基复合材料自动铺带产品的主要影响因素,从而达到最优化加工的目的;装备技术将

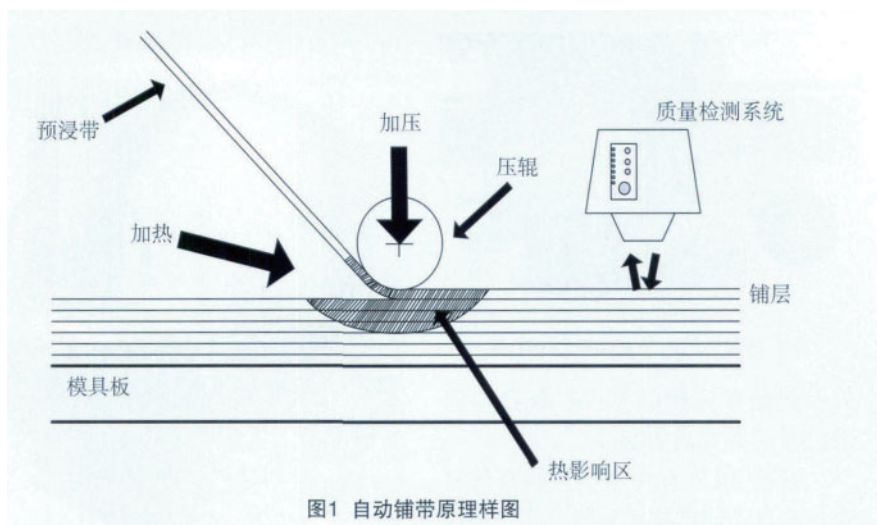


图1 自动铺带原理样图

直接影响和制约复合材料的自动化成型水平;CAD/CAM软件技术主要指软件相关算法的研究和软件开发技术。

#### 1 热塑性树脂基复合材料自动铺带工艺技术

热塑性复合材料的铺放过程包括加热、融化和冷却,因此,由于基体和纤维材料的不同热特性以及加热和冷却的不均匀性,不可避免地产生残余应力。从产品的质量角度考虑(比如层间应力、尺寸精度等),残余应力的大小需要有一个容许极限。另外,在结构件中的承载部分需要较好的结合,不应该有孔隙。不完全的结合会导致较高的孔隙率,将会严重降低复合材料的机械性能。还需要考虑的是由高温所致的热塑性树脂基体的热降解。

树脂基体长时间处在高温环境中发生降解和分解,因此,过高的加热温度将会导致基体的降解,从而有限的热降解是另外一个质量要求。在铺放过程中,还要提高生产率。虽然热塑性树脂基复合材料有直接成型的优点,不需要后处理,但是目前的热塑性树脂基复合材料的加工速度与热固性相比慢了很多,因此提高热塑性树脂基复合材料的加工速度才能从真正意义上提高其生产率。

热塑性自动铺带的原理样图如

图1所示,以一定的角度输送预浸带并通过恒定速率的压辊压在模具板上。在铺带过程中,使用加热装置加热预浸带,用压辊对预浸带施加压力;预浸带在高温高压环境下实现原位固化;质量检测系统在线检测铺层表面的质量。鉴于质量约束条件,需要大量的加工模型才能确定加工工艺和产品质量(残余应力峰值、降解程度、结合情况)之间的关系。加工模型提供了加工变量与产品质量之间输入和输出的关系。加工变量可以控制并且影响着产品的质量,因此,应通过反复试验改变加工参数,获取最优的加工工艺<sup>[6]</sup>。

#### 2 热塑性树脂基复合材料自动铺带装备技术

根据热塑性树脂基复合材料自动铺带过程中的特殊要求,其自动铺带设备与热固性复合材料的铺带设备有很大不同,热塑性树脂基复合材料自动铺带设备不仅要满足在高温环境下长期工作,还要保证高温熔融状态的预浸带不受破坏,另外,热塑性树脂基复合材料在自动铺带过程中既已原位固化,因此在高温加热的同时,还需提供很大的压力,从而保证预浸带层间较好的结合,满足制品所要求的机械性能。

正是由于热塑性铺带设备要满足如此多的苛刻条件,并且国外在这方面对国内实行技术封锁,目前国内

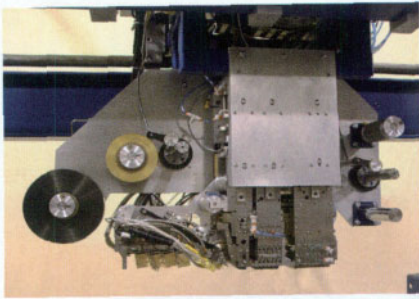


图2 热塑性树脂基复合材料铺带头

关于热塑性树脂基复合材料自动铺带设备的研究尚未起步。

目前,国外有关热塑性树脂基复合材料自动铺带技术的研究已趋于成熟。图2为NASA研制的热塑性树脂基复合材料自动铺带头,该设备主要由放卷轴、送料机、加热装置、2组金属垫片轴、3组压靴以及红外测温仪组成。热塑性预浸带通过铺带头上的加热送料机被送至加热区域,加热区域有2组可上下移动的加热压靴使预浸带维持在需要的温度范围之内,并提供1000N左右的压力,通过加热加压把预浸带铺在模具表面。冷却区域也有多排上下移动的压靴,可提供3000N左右的压力,提高预浸带铺层的固化度。由于用于航空工业的热塑性树脂基复合材料比如PEEK熔点通常在400℃左右,粘弹性的材料不可能长时间承受如此高的温度。

因此,压靴采用多个金属片连接组成(图3)。根据模具表面的形状,调整压靴的上下行程。在加热区域和冷却区域,为了保护处在高温环境中的预浸带不受损坏,并使预浸带受力均匀,在压靴和预浸带之间均隔着一

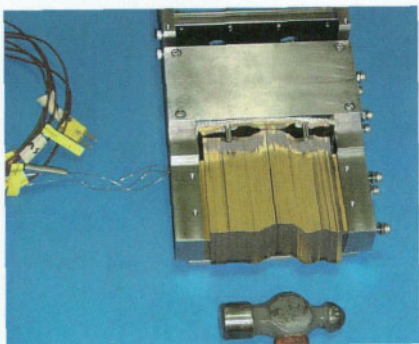


图3 金属片压靴



图4 热塑性树脂基复合材料自动铺放成型制品

层金属垫片,压靴作用在金属垫片上,通过金属垫片把预浸带压在模具的表面<sup>[7]</sup>。图4为国外热塑性树脂基复合材料自动铺放成型制品。

南京航空航天大学复合材料自动化技术研发中心正自主研发热塑性复合材料铺带头,其原理样机如图5所示。同时对热塑性树脂基复合材料自动铺带技术进行了理论分析,并即将对其进行试验研究,填补了国内在热塑性树脂基复合材料自动铺带方面的空白。

### 3 热塑性树脂基复合材料自动铺带软件技术

自动铺放CAD/CAM软件技术主要指软件相关算法的研究和软件开发技术,包括轨迹规划技术、覆盖性分析技术、边界处理技术和后处理技术4项关键技术。

国内目前尚未拥有商用的自动铺放CAD/CAM软件,相关技术仍处

于积极探索研究之中。目前,AFPT/Koeirit公司采用VCP & VCS (VERICUT Composite Programming and Simulation)软件用于热塑性铺带系统的开发。该软件是由美国CGTech公司在原有数控加工仿真软件VERICUT的基础上开发的、独立于CNC机床环境的自动铺带和自动铺丝的离线NC编程及仿真软件,可读取CAD文件中的曲面模型和铺层边界信息,生成铺放轨迹,整合单层轨迹,进行铺层顺序优化。该软件生成NC代码,同时提供了通用CAD/CAM软件接口,能实现CATIA、UG、MasterCAM等软件的嵌入运行<sup>[8]</sup>。

### 热塑性树脂基复合材料自动铺带技术展望

尽管热塑性树脂基复合材料具有优异的性能,但在航空工业上的应用并没有达到当初设想的程度,而热固性树脂基复合材料仍然是主要的复合材料。这主要是因为热塑性树脂粘度大、溶解性能差,材料成本高,缺少使用经验等。另外,由于国内热塑性树脂基复合材料自动化成型技术落后,其加工速度与热固性复合材料相比慢了很多。因此为扩大热塑性树脂基复合材料的应用、发挥其优越性能,不仅要在提高材料工艺性能、降低材料成本、积累使用经验等方面进一步深入研究,还需加快国内热塑性树脂基复合材料自动铺带技术的研究步伐,争取在国内早日实现热塑性树脂基复合材料自动铺带成型,以打破发达国家对我国的技术垄断,促进国防、航空航天事业的发展。

本文有参考文献8篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 良辰)

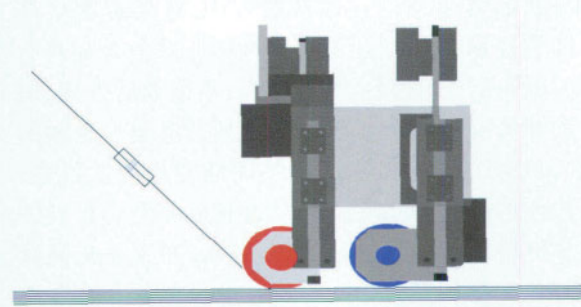


图5 热塑性树脂基复合材料自动铺放成型原理样机