

缝合技术在复合材料液体成型 预制体中的应用研究

Application Research of Stitching Technology on Fabric Preform for Composites Liquid Forming

中航工业北京航空制造工程研究所 吴刚 赵龙 高艳秋
中国人民解放军驻沈阳飞机工业(集团)有限公司军事代表室 王韬



吴刚

中航工业北京航空制造研究所工程师,主要从事复合材料缝合技术与液体成型工艺的研究,曾参与“863”、“十五”、“十一五”等多项预研课题的研究工作。

以碳纤维为增强体的先进复合材料与传统金属材料相比,具有比强度和比刚度高、可设计性强、疲劳性能好、耐腐蚀、便于制造大型整体件等优点。随着复合材料设计和制造技术的不断发展和成熟,先进复合材料在军、民用飞机上的用量也在不断

缝合技术作为一种复合材料液体成型预制体的有效连接增强的方法,对薄厚制件均适用,同时根据预制体的实际情况选取不同缝合方式与工艺参数,可满足实际应用中复杂形状纤维预制体的要求。

增加。随着复合材料用量的增加,其制造成本过高的问题也愈发显得突出。由于在复合材料总成本中制造成本约占60%~70%,低成本复合材料技术成为当今世界复合材料领域开发研究的核心问题之一^[1]。低成本的成型工艺方法是今后复合材料应用研究的主要方向。树脂传递模塑(Resin Transfer Molding)、RFI(Resin Film Infusion)等复合材料液体成型技术自出现以来由于其工艺上具有成形效率高、成本低、污染小、适合成型大型复杂构件等优点而倍受人们的关注。

缝合技术是针对传统工艺方法不足而开发的一种全新的技术。其原理是通过缝合手段,使复合材料在垂直于铺层平面的方向得到增强,从而提高材料层间损伤容限。穿过

增强织物厚度方向的缝线可以大大改善复合材料的层间性能。不仅如此,缝合技术应用于复合材料液体成型工艺还可提高制件成型的整体化程度。缝合纤维预制体可用于制造大型复杂结构复合材料构件,不仅克服了传统复合材料层间强度弱、易分层的缺点,也使其抗冲击损伤性能大大提升,而且减少了金属连接件的数量,这样既减轻结构质量,又减少制造总成本。

复合材料缝合工艺参数

1 缝合线选择

为满足航空航天类复合材料构件的特殊需求,缝合线要求具有高强度和高耐磨性,而且其性能不应受复合材料固化的影响。常用的缝合线有芳纶纤维、玻璃纤维和碳纤维

等。其中 Kevlar 纤维线由于其特殊的耐磨性、良好的抗冲击韧性,在缝合复合材料中应用较多。在复合材料预制体缝合时通常应用不加捻的 Kevlar 纤维纱线。这种不加捻的纱线和加捻线相比耐磨性较差,且有缝合过程中有易松散起毛等缺点,但是加捻线由于纤维束弯曲纤维强度会有所下降,通常 Kevlar 纱线加捻后纤维强度下降 35% 左右^[2]。

2 缝合密度

复合材料缝合虽然提高了层合板的层间性能,对 CAI 值、GIc、GIIc 有较大贡献,但这却是以面内性能的损失为代价的,因为缝合线使得层合板在沿厚度方向有了增强的同时,却在一定程度上损伤了层合板 X、Y 方向的纤维。为使复合材料达到最佳性能状态,缝合密度的选择也很重要。很显然,缝合密度过大会导致层合板面内性能损失较大;而缝合密度过小对层间性能的提高效果不明。经过大量的试验对比,目前航空复合材料常用的缝合密度主要是 5mm × 3mm、5mm × 5mm、5mm × 8mm 等。

3 缝针选择

在复合材料缝合过程中缝针对纤维会造成一定程度的损伤。如果针尖太锋利,纤维容易被切断;而针尖太钝的话,针尖进入纤维的阻力太大,在缝合相对较厚的预制体时会降低缝合效率,因此,缝针针尖的锋利程度要适中。我们在保证缝针刚度的同时缝针越细越好,尤其对纤维泡沫夹芯预制体进行缝合时,越细的缝针对泡沫的损伤越小。

缝合设备

缝合技术是实现复合材料三维增强的一项关键技术,而用于满足不同类型飞机结构缝合需要的缝合设备是三维增强技术的重要保障。因此,在高性能、低成本复合材料制造技术需求牵引下,先进的缝合设备在

美国等西方国家得到很快发展。为适应国内新型飞机对缝纫技术的需求,中航工业北京航空制造工程研究所率先从国外引进了最新一代的复合材料专用缝合设备(见图 1)。此缝合设备由二维缝合单元和三维缝合单元两部分组成,其有效缝合面积达到 3.5m × 9m,最大缝合厚度 30mm,最快缝合速度达 1000 针 / min,可适用于各种形式预制体的缝合。



图1 大型缝合设备

复合材料缝合方式分类

1 双面缝合

双面缝合是从预制体的上下两面进行缝合,其原理与家用缝纫机的原理相似,缝合线被针从制件一边带人,底下有一底梭配合缝针带线结套。这种缝合方式的缝合线轨迹如图 2 所示。

2 单面缝合

单面缝合是缝针从预制体的上面穿透制件进行缝合,而另一面没有缝合单元,缝头只是在被缝合件的单面完成缝合工作。复合材料常用的单面缝合主要有链式与 Tufting 2 种缝合方式。

链式缝合:如图 3 所示,链式缝针为弯月形缝针,缝针与摆线钩针处在同一边,随着缝针延缝线方向移动,弯针反复穿透制件使缝合线多次

绕曲形成线套相连,缝合线轨迹如图 4 所示。

链式缝合方式缝合适用于复杂构型预制体的缝合。

Tufting 缝合:缝针工作原理是缝针从预制体一面穿透制件,在缝针退出预制体表面后,把缝线留在预制体内部,缝线轨迹如图 5 所示。Tufting 缝合是靠预成型体与缝线之间的摩擦力把缝线留在预制体内,所以在制件内部也没有结点,由缝线引起的应力集中较小。由于 Tufting 的单面缝合特性,所以同样适用于结构形式复杂的纤维预制体缝合。

不同缝合方式的工艺特点及应用

(1) 锁式缝合(改进锁式缝合)。因其工艺性较好在复合材料预制体研制中得到广泛使

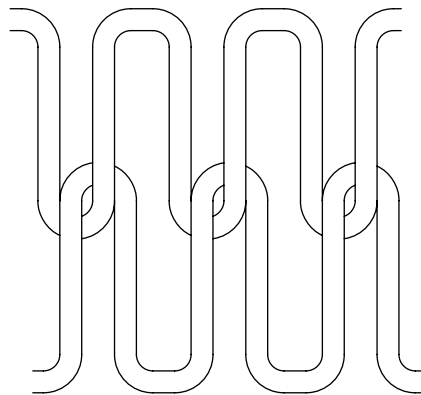


图2 传统锁式缝合

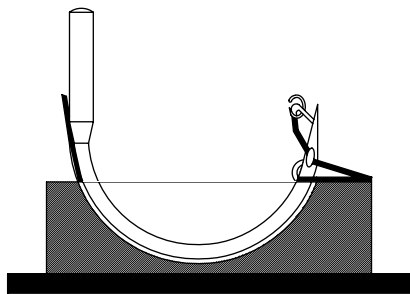


图3 链式缝针工作原理

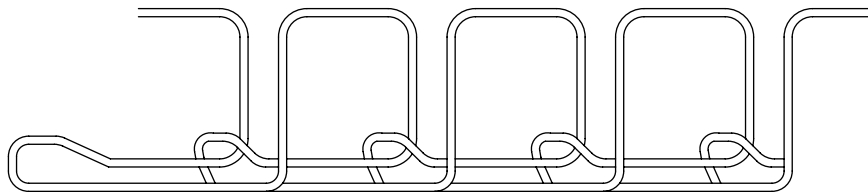


图4 链式缝线示意

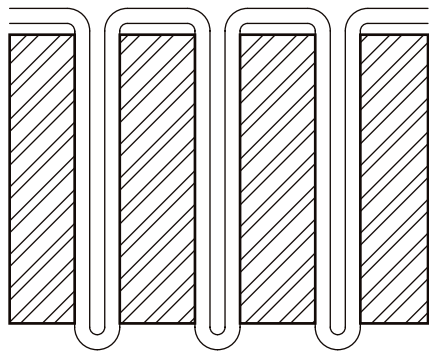


图5 Tufting缝合

用。传统锁式缝合方式较常见,其特点是缝线和底线的结点在制件厚度的中间位置,这对于复合材料来说,结点处的应力集中很大程度上会影响复合材料性能的提高。因此,在传统锁式缝合的基础上进行工艺优化,出现了改进锁式缝合,图6即为改进的锁式缝合。在复合材料缝合中,改进锁式缝合应用较多,使用此缝合方式制件在厚度方向缝合线弯曲少,对面内纤维的损伤少,由缝合引起的应力集中也较小,因此使复合材料具有相对更高的损伤容限。

锁式缝合因其受双面缝合的工

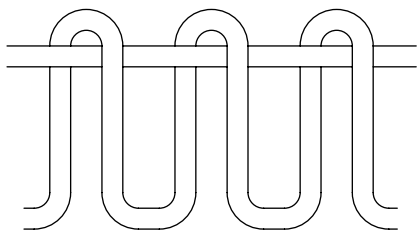


图6 改进的锁式缝合

作原理所限,对预成型体的缝合工作只能在缝合设备工作平台上完成,所以通常此种缝合方式只适用于曲率相对较小的预制体上,缝合厚度可达20mm。锁式缝合对缝线的张力可做相应调节,因此在没有特殊定位要求

的情况采用锁式缝合无需对预制体使用定位胶粘剂。通过调节锁缝,复合材料加强筋与蒙皮连接的结构应用锁式缝合较多,在靠近立筋的缝合区需要更换小压脚来保证缝针靠近加强筋根部从而完成缝合。图7为应用锁式缝合对复合材料大型加强筋蒙皮的连接缝合。

(2)链式缝合。缝头固定于悬臂机械手上,依靠机械手来完成复杂的缝合动作。因此,链式缝合可以完成所有复杂曲面预制体的缝合,但由于缝针为弯月形缝针,所以链缝通常适用于相对较薄的预制体。链式缝合的最大缝合厚度为10mm,当纤维预制体厚度小于1mm,且零件型面曲率较大时,在双面缝合工作平台的限制下无法使用锁式缝合;而对于Tufting缝合,因为零件较薄,缝线不易留在零件内,所以对于此种预制体的缝合最好采用链式缝合方式。

(3)Tufting缝合。同样是依靠连接缝头的悬臂机械手上完成复杂型面的缝合,在缝合时Tufting缝针只有在预制体内穿进和退出的简单动作,所以Tufting缝合可适用于较厚的预制体缝合,Tufting缝合的最大

缝合厚度可达30mm。采用Tufting缝合时缝线几乎处于自由状态,张力很小,仅靠缝线与预制体的静摩擦力把缝线留在预制体内部。因此,为了保证缝线能顺利留在预制体内部,会在预制体铺叠时加入少量定位胶黏剂来增大预制体与缝线的摩擦,从而保证缝合的顺利进行。在缝合泡沫夹芯预制体时,定位胶黏剂作用不明显,可以在预制体底部加衬一层薄橡胶,以达到留住缝线的效果,缝合完成后再取下橡胶。对于相对较薄的预制体也可以采用此种方法来提高Tufting缝合质量。图8是采用Tufting技术缝合曲面加筋壁板。



图8 Tufting缝合曲面加筋壁板

结束语

缝合技术作为一种复合材料液体成型预制体的有效连接增强的方法,对薄厚制件均适用,同时根据预制体的实际情况选取不同缝合方式与工艺参数,可满足实际应用中复杂形状纤维预制体的要求。相信随着研究的不断深入,复合材料缝合技术会越来越完善,应用也会越来越广泛。

参考文献

- [1] 刘红武,朱胜利.低成本缝合复合材料在次承力结构中的应用.航空制造技术,2009(Z1):43-47.
- [2] 艾涛,王汝敏.Kevlar缝合复合材料的研究进展.材料导报,2005(1):64-67.

(责编 亦非)

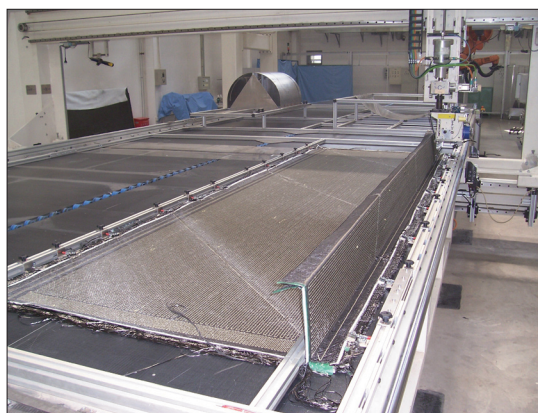


图7 大型加筋蒙皮复合材料连接缝合