

热塑性复合材料在航空 航天中的应用

Thermoplastic Composites for Aerospace Applications



Uday Vaidya
博士、讲座教授
伯明翰 Alabama 大学
材料工艺与应用发展中心
材料科学与工程主任

热塑性复合材料由不连续 / 连续纤维增强(如碳纤维、玻璃纤维或芳纶纤维)热塑性树脂(如聚酰胺(PA)、聚苯硫醚(PPS)、聚醚醚酮(PEEK)等)构成。热塑性树脂的热结构具有可逆性,当温度高于其玻璃转变温度时软化,而当温度低于该温度时固化。

热塑性树脂的优点包括:重量轻、成本低、高比强度和硬度、增强振动阻尼和声音衰减、增强冲击损伤容限(动能吸收)、设计自由度高、能够模塑成型复杂几何形状和结构、优良的剪切和断裂强度、可调的导热性、可回收性、具有电磁屏蔽能力、在恶劣环境和无害环境的稳定性 / 耐久性。热塑性复合材料为有限和批量生产航天航空结构件提供了非常灵活和高性价比制备过程,如弹道套、支架、底座电子板、地面材料、电网鳍、翅膀、整流罩、天线、发动机进气口和装载门。

有前途的复合材料

目前,航空航天领域设计者和集

热塑性复合材料在航空航天领域迅速发展,如航空和导弹防御中的应用。热塑性复合材料具有重量轻、高比模量和强度、设计自由度高、易加工和可回收的优点。本文介绍了伯明翰阿拉巴马大学(UAB)在航空航天用不连续或连续碳纤维热塑性复合材料最近的研究工作,包括电子产品外壳的复杂基板、配载门、罩片和结构承重构件。所使用的工艺包括挤压压缩、纤维注射、变截面板和真空成型,大大缩短了制备周期。

成商还没有发现在材料 / 加工 / 性能综合性能足以取代铝和钛等传统各向同性金属的材料。从历史上看,热塑性塑料包括纤维增强材料是难以加工。历史上,热塑性复合材料当包括纤维增强体时被认为很难加工。

近年来,热塑性复合材料快速发展,出现了很多新型热塑性复合材料,但是应用仍然非常有限。随着先进设计技术和高性能纤维增强热塑性聚合物制备技术的发展,该材料越来越有前途。

碳纤维热塑性复合材料越来越优于传统的金属合金如铝合金和钛合金。同样,碳纤维热固性环氧树脂复合材料在减少重量的同时也具有优异的比模量、比强度和抗冲击性能。应用于航空航天领域的热塑性复合材料,其结构一般分为3种:不

连续纤维、连续纤维和混合纤维(包括不连续和连续纤维)。这对该材料提供了非常宽的设计空间,以生产成本效益、结构和性能综合优化的航空航天产品图1为先进热塑性复合材料典型代表,包括球、带、织物及合成

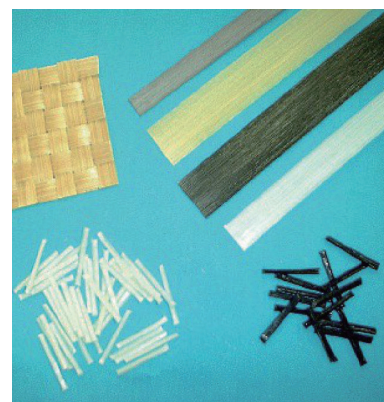


图1 先进热塑性复合材料典型代表,包括球、带、织物及合成物

物。

工程热塑性树脂如 PEEK、PEK 和 PPS 已经成功应用于航空航天领域。然而,它们的高温处理需要昂贵的高压釜,限制了其在更高端领域的应用。碳纤维增强体的出现为制备航空航天新产品提供可能。热塑性聚合物复合材料是熔融加工以产生中间复合形式,如粒料和胶带,这些可以在下游加工成高性能的结构。

在热熔过程中,纤维束(碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维等)被浸入 PEEK、PPS、PEK 热塑性树脂中。用于航空航天零部件制备工艺主要包括:挤压成型、长纤维注射成型、热塑性拉挤,以及薄板冲裁、放置和冲压。

通过热熔融浸渍制备的长纤维热塑(LFT)粒料被注射成型,挤出压缩模或以其他方式处理。在 LFT 中,纤维长径比(纤维长度/纤维直径)高达 2000,因此在承载过程中,能够实现 90% 以上连续纤维强度。在热熔浸渍材料中的纤维含量能够达到 10%~70% (重量比)。纤维含量越高,制备产品的强度和刚度越高。

在挤压成型过程中,热熔浸渍颗粒送入压塑机(低剪切挤出机)产生的中间形式,也就是粘性聚合物熔体和纤维优先在螺杆径向方向取向的过程;然后放入封闭的空腔模具(金属模具)中以生产复杂形状的零件。

在航空航天领域应用碳纤维热塑性复合材料具有以下优点:

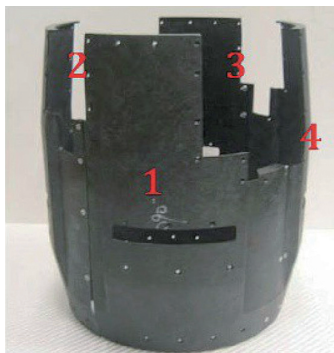
- (1)能够在特定方向调控纤维方向;
- (2)由于纤维/树脂具有在空腔中的流动性,能够用来生产几何形状复杂的零件,同时保持优越的结构性能;
- (3)该过程能够整合电磁屏蔽材料,插入、集成和封装组件作为原料溶液的一部分。

薄壁碳纤维 LFT 构件

对于短玻璃纤维增强热塑性树



(a) 基板装配



(b) 飞机气动外壳装配

图2 2块基板由铰接装配,飞机气动外壳由4块扇形组成

脂薄壁零件已经有很多研究,然而,很少有研究报道碳纤维增强薄壁 LFT 热塑性复合材料构件/壳。碳纤维增强热塑树脂由于碳纤维高热率导致其接触金属模具表面时迅速冷却,由于材料流动期间凝固层(接触模具冷壁)与熔融芯层的高比率,导致薄壁 LFT 碳纤维增强热塑性复合材料(厚度小于 2mm)将面临挑战。

例 1: UAB 团队的研究加深了他们对碳纤维 LFT 复合材料制备薄壁结构的理解。已经证实能够制备如弯曲、法兰、尖角和壁厚仅为 2~3mm 的复杂几何形状构件。图 2 表明了碳纤维 LFT 复合材料在航空电子气动外壳和基板的应用,替代铸造铝外壳和铝基板以减少重量、振动/噪声和制造成本。选择热塑性复合材料主要原因是其具有高阻尼减振、隔热效果优异、优良的耐冲击性、可回收、成本低和制备周期短等优点。该组件经受速度高达 823m/s 和高旋转,其外表面由于气动加热温度高达

177℃。这些部件都是从概念到原型通过挤压压缩和纤维注塑成型加工。孔、凹口和切口的后处理的机械加工性如图 3 所示。该热塑性复合材料解决方案满足设计要求。

薄壁壳体的微观结构如图 4 所示。基体燃烧试验表明所有的位置,包括尖角、台阶和法兰,显示相对均匀的纤维分布(质量分数为 32%~37%)。没有发现明显的孔和缺陷,显示充分的结合和物质流。图 4 中弯曲部分、尖角、法兰和台阶处的微观结构表明物质流和结合在所有位置被优化了。

例 2: 碳纤维 LFT 材料和挤压成型工艺被用于制备航空电子复杂构



图3 碳纤维LFT成型复合材料中孔、切边及开槽口的可加工性能

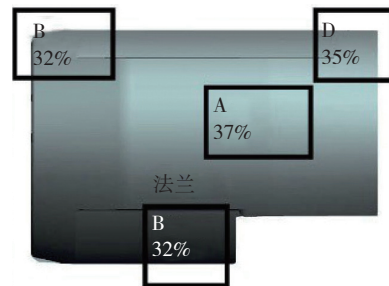
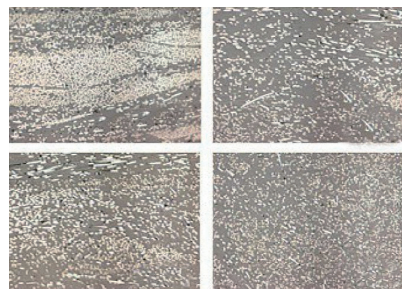
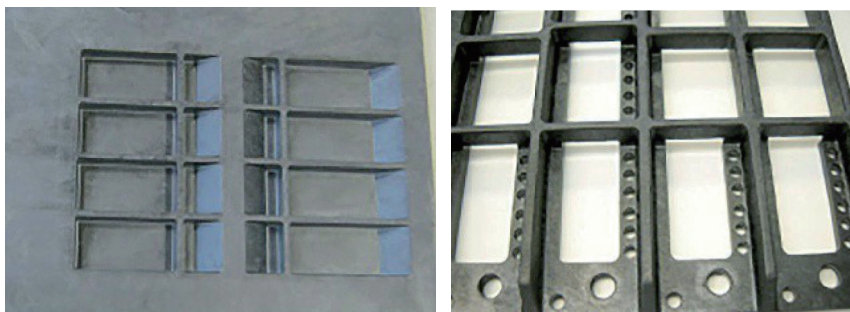


图4 碳纤维LFT壳体不同部位的显微结构及重量分数



(a) 碳纤维热塑性部件的深冲压及复杂筋条特征； (b) 飞机电子部件中长方形凹槽、邻近孔的后加工以及平面公差

图5 碳纤维LFT材料和挤压成型工艺在航空电子复杂构件中的应用

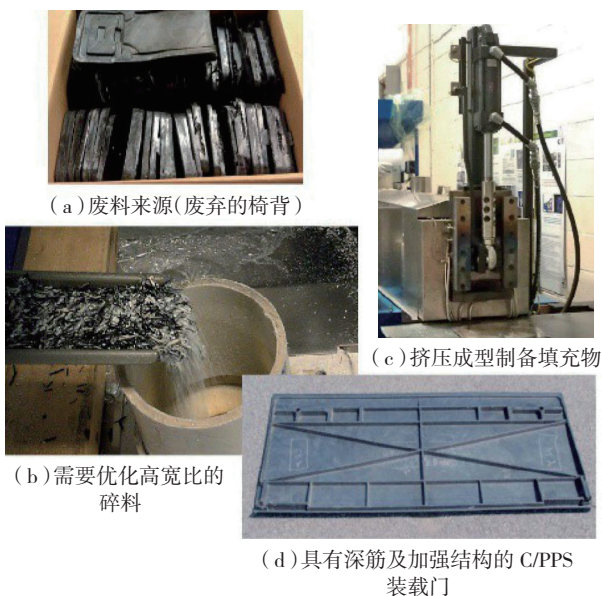


图6 回收碳纤维热塑性复合材料PPS (C/PPS) 在飞机装载门及非结构构件中的应用



图7 一系列具有航空航天应用特征的长碳纤维增强热塑性树脂已在LFT制造单元进行开发和设计

件。如图5(a)和5(b)所示,两个组件部分显示在90s的循环后复杂功能成型。图5(a)为高度5mm的加强筋,图5(b)为高度7mm的加强筋。复杂后段部分的加工如图5(b)所示,长方形的镂空和高公差孔进行后加工。这些元件的平面公差为0.0025mm。替代铝构件后重量减少了33%。

例3:从退役飞机,零部件/组件,废旧运动器材(如曲棍球棒)。过时的预浸料坯,织物边缘装饰等产生数以百万计千克的碳纤维废料。碳纤维热塑性材料对飞机部件附加值是如装载门、地板配件、货物集装箱等上的应用。UAB团队与回收碳纤维材料创新技术(佛罗伦萨,美国北卡罗来纳州)合作从废旧飞机座椅靠背回收碳纤维/PPS,如图6(a)所示。被粉碎和过筛后,碎料中纤维长度保持在12mm(图6(b))。这些碎料像LFT材料一样放入挤压成型设备中制造典型的装载门(图6(c))。制造的构件是为了承载具有深加强筋(12mm)和平的前表面。该航空航天构件具有高的刚度和强度、附加值和二级/三级组元的成本效益。相对于原材料和第一次回收阶段材料,所制备门的拉伸、弯曲、冲击和热物理性能相当。回收步骤(粉碎处理)重复4次。C/PPS材料发现4次循环仍然保持其性能基本没有减少。该研究超过了4个周期的切碎加工。

结论

一系列具有航空航天应用特征的长碳纤维增强热塑性树脂已在LFT制造单元进行开发和设计(图7)。一体化进程和产品发展战略是通过采取这一概念到原型和最终产品。本研究中,二级和三级航空航天应用的工艺创新使得选择的非连续碳纤维和连续碳纤维一样不用高压釜,因此不太昂贵。

(翻译 李进松 管佳明 责编 春早)