

高质量整体复合材料的高压注入(浸渍)方法

Holistic Quality Approach for Autoclave-Injection Composite Manufacturing

Erilk Kappel Nico Liebers

德国宇航中心复合材料结构与自适应系统研究所

Manuel Buggisch Philipp Hilmer

Markus Kleineberg Christian Hühne

装备周期越来越短,成本利用率越来越高的工艺方法使得高质量可循环利用的碳纤维复合材料产品在成本水平上具有竞争力。这种优势产品能够满足不断增长的产品要求。

欧洲 LOCOMACHS 项目(集合复合材料多种结构的低成本处理工艺的研究)挑战了今天的制造业并且集合多种工艺,为即将出现的下一代飞行器的产生铺平道路。当制造业在复合材料结构方面有一个很好的表现的时候,质量就需要同不同的观点关联起来,因为它涵盖了各种层压制件的具体参数,例如纤维体积含量、孔隙率、固化和几何方差方面。图 1 为 LOCOMACHS 精艺装配机翼盒子,展示了几何学的准确性与层压制件本身的质量同样重要。因此,安装很多种测量仪器来监测和实施调整所有相关的产品参数。

本文重点研究在碳纤维复合材料制造的翼肋,这个翼肋是在高压环境下通过树脂浇铸制造的。为了使这种碳纤维复合材料的翼肋制造方法具有竞争力,设计内容、制造工艺、刀具补偿、质量控制、整体的成本这些方面都被考虑在这个过程中。尤其是成本评估强调了这个方法的整体特性。

体特性。

翼肋设计、刀具补偿和制造工艺

现代的飞行器结构中,各部分结构的差异性巨大的,几乎没有相似的部分。所以一个特定的模具对于每一个变化的个体是必要的,但成本考虑直接减少工具花费,通过用便宜的铝制工具代替价格昂贵的最新技术的 Invar。总体来说,为精确尺寸碳纤维复合材料组件设计模具是一项具有挑战性的任务,因为复合材料的各向异性和高温工艺使得不被期望的形变产生,这种工艺过程中引发

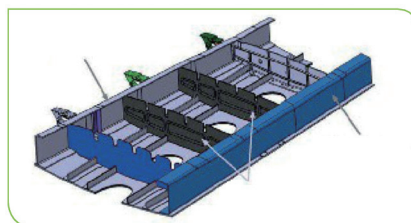


图1 LOCOMACHS精艺装配机翼盒子 (LAWIB)

的形变(PID)是由于弹性、弯曲或者相互作用力引起的。运用低价的工具材料会加重 PID 问题,比较典型的就是材料本身在可理解范围内的热膨胀,这也会引起额外的形变。对于 LOCOMACHS 翼肋,这些挑战需要被考虑并解决。一个质量减轻的、单边的铝制工具被用在全套的双翼肋(集中在一个点上的)制造。高压树脂浇注工艺之所以被选用是因为它结合了经济优势,出色的部件质量,以及重要的可调节能力。铝制工具的形状表面意义上被认为是有偏差的。根据对 PID 预估,根源是来自一个新开发的有效的仿真分析苯酚的数学计算策略。该方法被扩展结合 LOCOMACHS 和提供 PID 问题预测的仿真策略,此策略与模型和参数有关,保证了预测的准确度和满意度,这些努力最后会将误差降低到最小值。NCF 纤维材料翼肋的预成型是手动操作的,因而被高压树脂浇铸所代替。原地实测数据会通过一个新

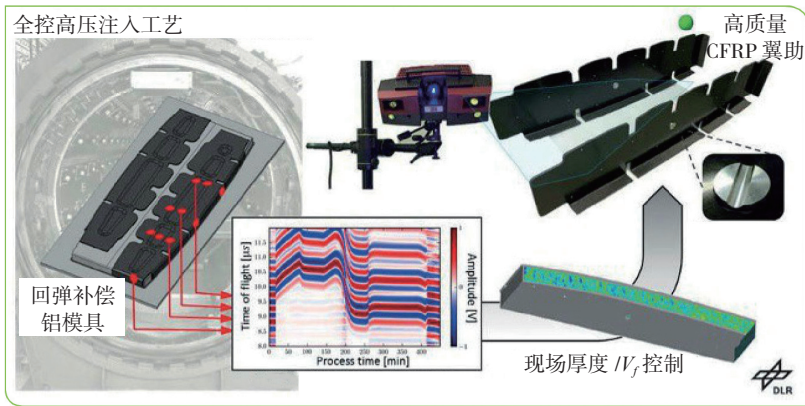


图2 LOCOMACHS项目中CFRP翼肋制造的整体质量控制方法

研制的超声波质量控制系统获得,这个系统在后面会被清楚地描述。实时的数据被用来控制部分层片的厚度,因此,如图2所示在整个过程中它的纤维体积率可以通过改变树脂浇铸的压力来调控。

基于原地超声波的质量控制和全范围的变形测量

相比于其他监测手段,超声波具有一定优势,因为声波可以通过模具的壁面传播,不需要直接接触被监测部位,所以不会影响表面质量也无需模具提供完整空间。因为模具和传感器连接不稳定,此类应用的传统超声波传感器体积庞大、价格昂贵,并且不具备足够的可靠性。这就使在工业条件下进行碳纤维复合材料工艺监测超声波传感器得到发展。这个传感器包括一个直接安装在模具上的压电元件。这些传感器很小并且低成本,可以安装很多个,将它们简单集成在一起。基于复合材料波之间的相互作用,最重要的过程参数比如树脂注入、固化程度、凝胶、玻璃化、层压片的厚度都可以在这个先进的数据收集过程采集到。在脉冲回波模式下前方的流动可以被探测到,与传递器和接收器相类似的传感器上收到了一个振幅显著下降的信号,这个信号是由声波信号遇到树脂所到之处反射后传递过来的。巧妙地放置探测器的位置,树脂被探测到

的深度信号将会用来识别追踪轨迹和收集气体的风险,确保完成注入的质量。这个固化工程与声波传播速度有关,与常用的电介质传感器相比,不仅可以探测表面固化程度,而且可以获得一个部分厚度的平均值。因此,这个高压处理过程可以基于原位固化数据来控制。层压板的厚度可以根据声波所用时间来确定,而且可以校准试验一下空位固化的影响。因此层压板的厚度、纤维体积率都可以通过调整高压炉和树脂罐中的压力大小来控制,直到达到目标值。使用光学 GOM Atos 全范围地测量评价翼肋制造尺寸的精确度。这个测量程序利用了一个创造性的参考元素概念,这个程序可以统一调用整个过程链,同时可以将 CAD、FE 和测量结果做对比,因为最适合的操作通常是被规避的。第一翼肋的评价集显示了整个部分出现的厚度的均匀分布和扭曲的弹簧全补偿。

整体成本评估模型

为进行一次全面的成本评估,看一个真实的生产过程能否与复合材料组件制造过程相一致是最重要的。事实上设计的产品生产过程经常缺少这方面的一致性。尽管这个经过深思熟虑的生产过程可以在实验室中进行,这样可以满足一致性的要求。整体成本评估意味着所有相关参数除了建筑设备都被准

确记录和测量,这些数据都是基于 LOCOMACHS 实验翼肋的制造过程采集的。由于专门成本统计方法采用了 DLR,所以没法被准确评估。要完成这个巨大需求,一方面,生产过程中一次性花费(NRC)已经被评估;另一方面,一个详细的生产记录本身就为各个类型的循环消费(RC)提供了保证。一次性花费包括专门的投资,比如模具;非专门性用具,如炉子。模具,相似的部件,都被包括在一个虚构的125套翼肋生产方案里,分别是125架飞机折旧5年的费用。炉子和其他设备的投资分散到5年内的每一天来折旧,相对应的因为这些设备被分配到每天都使用。

DLR 翼肋产品的评估展示了这个产品的成本、工程制造和弹簧补偿上。无论如何,它都是一个具有代表性的价格。对于这个评估,有一些设想被提出,如果将这个产品带入工业过程通过自动化取代人工程序,那么相对使用的设备成本也要联系进来。减少成本的机会在 LOCOMACHS 过程的最后一步,这是由于传感器控制过程和补偿模具弹簧的成本是在随后的装配过程影响评估后才来进行评估。

结束语

LOCOMACHS 过程的指导意见是在提出碳纤维复合材料(CFRP)翼肋制造概念之后被采起的。在整个固化过程中运用多种方法使得部分部件取得很高的质量。在注入和不间断的固化过程引入创新的超声波技术现场监测,并且这个测量数据可以通过控制炉子和浸渍罐之间的不同压力用来调控纤维体积率。附带的整体成本评估追踪标定了所有涉及过程的花费,这个评估带来了一个复杂的成本评,这对制造碳纤维复合材料(CFRP)翼肋盒和所提出的复合材料翼肋设计方案带来了竞争力。(翻译 李进松 责编 春早)