

复合材料结构的成本模型

Cost Modelling of Composite Structures



Mathilda Karlsson
Hagnell
博士生
瑞典皇家技术学
院航空与车辆
工程系



Malin Åkermo
副教授
瑞典皇家技术学院
航空与车辆工程系

在航空领域,对复合材料的有效重量控制非常严格,导致其制造困难,而且成本很高。为了研究这种矛盾,作者正在研究一种方法,以用于评估复合材料制造和装配成本与几何结构、复杂性和制造方法的关系。

着工具显示的是总体趋势和措施,而不是绝对值的比较。这种工具的优势是能够快速比较不同制造方法和设计解决方案总趋势的能力。

生产成本

成本估算工具用 Python 开发,通过确定和描述任何给定的制造方法,控制过程步骤,基于过程建模。为了应用简单,必要的组元数据从 CAD 文件提取。所涉及的成本动因的每个步骤都被定义,成本汇总如图 1 所示。生产成本被认为是制造方法的函数。因此,有必要比较所有考虑的制造方法的预测生产成本,以获得用于某些组元的最具有成本效益的一个。此外,生产成本也是部分尺寸和复杂性的函数(图 2),两者的影响被纳入开发的成本估算工具,并通过循环时间和尺寸的设备直接影响到生产成本。

局部尺寸和复杂性

局部尺寸和复杂性的影响可以考虑所选择复合材料。以碳纤维预浸料为例,这些部件是在适当形状的工具上由不同宽度的预浸料制备的,制备方法主要有手糊(HLU)、自动铺

带(ATL)和自动纤维铺放(AFP)。制造的困难是预浸料的放置问题,这取决于材料相对于组件几何图形和所用设备的响应。对于 HLU 来说,其限制就是材料的响应,而 ATL 和 AFP 的限制是设备的旋转和转向功能。ATL 为宽带状放置,制备构件的复杂性最低,如果几何形状太复杂将导致预浸料带迅速起皱。AFP 可以单独开始和铺放预浸料纤维束薄带,这些薄带作为一个更宽的带外半径不会弯曲到相同的程度,因此不会过早的

为了取得成功,设计必须是可生产的,这意味着在满足年生产速率的条件下,复合材料的制造必须是经济有效的。因此,复合材料设计需要解决的现实问题是选择和匹配合适的生产技术,在获得高生产效率的同时必须使生产成本足够低。

成本效益

生产效益的重要性是相对的,取决于行业的整体情况。在航空航天领域,轻质复合结构对减少重量、降低燃油消耗具有重要作用。这种情况下,较高的生产成本是必要的。为了准确地反映这种设计的价值,有必要建立生产成本与重量的关系。这种思路的重点是生产成本也就是重量和可生产性之间的折中。为此,作者开发了新的方法和生产成本估算工具,可以分析通用复合结构的成本和重量之间的平衡,直接比较研究不同组合设计方案。由于折中分析的调查性质,成本估算工具的目标为详细程度较低的概念设计阶段,这意味

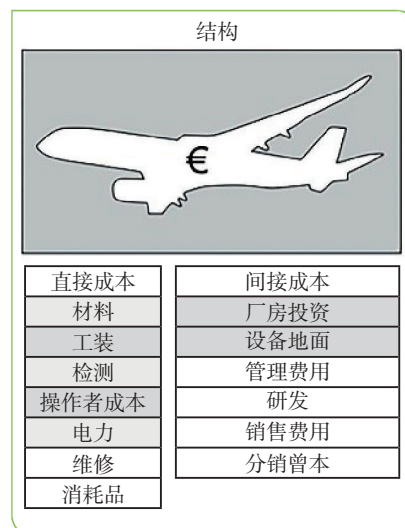


图1 成本汇总

(下转第 66 页)

传统的模具加热,比如,放在炉子里或者高压锅里,会在模具表面引起温度的不均匀分布。基于流动的快速浸渍的工艺运用快速倾斜升温解决了这个问题。片层上不平均的温度分布同样影响树脂收缩,而且可能引起聚合物形态的改变。这种苯并恶嗪树脂拥有较低的固化温度,相比于传统树脂,可以被快速加热,免去不可控温升的危害。通过倾斜快速加热和有效的能量利用,用流动加热和轻微加压压强达到的快速浸渍的工艺可以在整个表面准确地获得所需的模具温度。这个工艺有利于修改制定固化周期和保压时间,无需担心聚合树脂本身的物理化学性质的影响。结合所选树脂的力学特性,运用面向对象分析方法在整个工艺过程中监测固化和在线温度,使得完成固化层压制件的保压时间被大大缩短。最终,这种工艺在制备过程中会消耗相对较低的能量。另外,成批生产可减少模具,减少机器工作时长

和维护费用等,进而降低生产成本。

一种被验证原型的生产

为验证这种树脂和固化技术不但可以应用在平坦的层压制品还可以应用在更大范围、更大体积的制件上,生产引入了一个用来验证的嵌板(面积近乎 $1m^2$)。这块衬板的表面层由5层组成,每层的每平方公尺质量是370g,由5个六苯乙炔的碳纤维构成,导致每层厚度2mm,在每一层上放置一系列的4个帽子形状或者欧米伽形状的加强筋可移动的模具。这种装配结构被放置在采用快速浸渍工艺固化的操作腔室内注入。

检测纤维体积和层压制件质量

在模具成型固化过后, Henkel 检测了这块衬板。厚度的检测结果在预期范围之内,厚度的预设是考虑到 VARTM 工艺制造的编制结构的衬板的常规厚度来设定的。由于衬

板上帽子形状的加强筋上有干燥的污点痕迹,验证了衬板被注入一定厚度的物质。视觉直观检查表明在整个衬板上没有干燥的区域。运用显微镜分析了切断边缘确定在这块衬板和加强筋上没有视觉本身的空位。

展望

乐泰 BZ9130 航空树脂的处理方法应用于快速浸渍工艺被证明是很适合的,同时,衬板纤维体积分空位率在 55%~57%,这个数据在编制结构的层压制件中算是很高的了。衬板机械方面的评价坚持这个工艺的价值等同或者高于那些已经获得基于炉子使用规范 VARTM 的工艺的价值。Quickstep 的处理工艺提供了更快的加热和冷却系统,对于层压制件,在工艺过程中保持了更统一的温度。这个结果证明了苯并恶嗪浸渍树脂和工艺技术相协同的优势,即理论与实践相结合的优势。

(翻译 李进松 管佳明 责编 春早)

(上接第 62 页)

起皱,能够制备更加复杂的几何形状。

制造和处理时间

为了正确应用局部尺寸和复杂性的影响,两类测量必须使用:可制造性和处理时间的影响。可制造性的测量记录了制备方法和所用的材料体系的限制,而其对处理时间的影响描述了可制造边界内的复杂性和部件尺寸的影响。用于讨论制备方法的两种测量如表 1 所示。处理时间描述了铺层速率,其可以直接从局部重量和可能的铺层速率得到。

结束语

文中描述了用于开发一个通用复合材料结构的成本估算工具的方法。作者强调了当设计复合材料时,研究潜在的节省重量和生产成本之间平衡的重要性。未来工作的重点

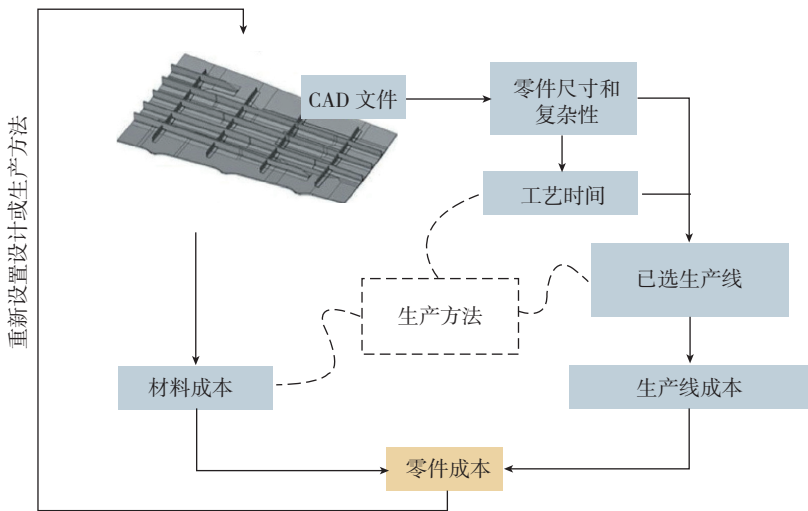


图2 利用其几何形状和复杂性计算的通用结构的零件成本

表1 零件尺寸和复杂性的影响

影响因素	HLU	ATL	AFP
零件尺寸	任何尺寸	大型	中大型
复杂性	高	低	较高
铺层 / (kg·h ⁻¹)	1~2	10~100	2~100

将通过成本估算应用向构件结构发展。该成本模型允许通过一体化的

优势进一步研究共固化而不是组装。

(翻译 刘保平 责编 春早)