

The Method of the Flaps of C919 Aircraft Manufacturing Quality Control

Ziguang Li, Zimeng Yin

Beijing Institute of Aerospace System Engineering, Beijing
Email: bjzimeng@163.com

Received: Feb. 29th, 2020; accepted: Mar. 12th, 2020; published: Mar. 19th, 2020

Abstract

Through analysis of the process characteristics as well as difficulties in the manufacturing process of large aircraft flaps, a process control as the center of the flap manufacturing quality control methods is proposed in this article. The method combines the flaps large passenger aircraft manufacturing process and the characteristics of their use of advanced composite materials, stressing on the need for comprehensive control of the internal quality of the advanced composite materials. The result of the application proved that, through this approach can improve manufacturing quality and reduce volatility when the real breakthrough in the manufacturing process is difficult to obtain.

Keywords

Aircraft, Composite Materials, Process Quality Control, Craft Constraints

大飞机襟翼制造质量控制技术

李紫光, 尹子盟

北京宇航系统工程研究所, 北京
Email: bjzimeng@163.com

收稿日期: 2020年2月29日; 录用日期: 2020年3月12日; 发布日期: 2020年3月19日

摘 要

本文通过对大飞机襟翼制造过程中工艺特点以及难点的分析, 提出了一个以工艺控制为中心的襟翼制造质量控制的方法。该方法将大飞机襟翼的制造过程和其所采用的先进复合材料的特点结合起来, 强调了先进复合材料内部质量进行全面控制的必要性。事实证明, 在制造工艺很难取得实质突破的时候, 通

过这种办法可以部分提高制造质量并减少波动。

关键词

大飞机, 复合材料, 过程质量控制, 工艺约束

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

C919 是中国自主研发的大型客机。在大飞机襟翼制造过程中大量应用了多种复合材料, 由于复合材料具有比强度高、抗疲劳、耐腐蚀以及便于整体成型等显著优点[1], 以至于其用量得多少已成为评价飞机制造先进程度的一项重要指标。

襟翼是安装在基本机翼后缘的一段或者几段重要的狭长小翼, 用来提高升力, 缩短起飞和降落距离以及提高爬升率。襟翼的制造质量将直接影响大飞机总装时的部件对接能否顺利进行, 以及整机的飞行安全, 因此成为工程研制过程中的重中之重。

目前国际上大型客机所应用的复合材料已由以前的铝合金改为高强度碳纤维。这种材料的传统制造工艺过程, 难以根据材料内部状态变化信息, 因而过程很难受控, 只能遵循经验。一旦原材料状态、加工环境有波动, 碳纤维产品的数据离散性波动大缺点就会暴露出来。因此必须对大飞机襟翼制造过程进行严格的质量控制[2]。

2. 襟翼制造质量控制方法现状及难点

2.1. 襟翼制造质量控制方法现状

目前, 襟翼制造质量控制方法在传统材料的襟翼制造中已经得到广泛应用。但是, 随着复合材料的出现和快速发展, 传统的质量控制方法越来越难以适应先进复合材料的质量控制要求。William J. Sullivan 认为应该控制影响复合材料构件制造场地的环境参数, 如温度、湿度等[3]。Bogucki G 认为在进行铺层这道关键工序时必须对操作过程实时监控, 确保关键工序方向、次序、定位的准确性, 进而控制关键工序质量[4]。Seresta 等提出了一种考虑铺层连续性的工艺优化方法, 可有助于提高产品质量[5]。

这些研究成果的重点是仅停留在针对一个具体问题, 提出一个具体的改进措施, 基本都属于事后控制, 有关成体系的制造质量控制方法还很少。为此, 本文通过对大飞机襟翼制造过程中工艺特点以及难点的分析, 提出了一个以工艺控制为中心的襟翼制造质量控制的方法。该方法将大飞机襟翼的制造过程和其所采用的先进复合材料的特点结合起来, 强调了对先进复合材料内部质量进行全面控制的必要性。

2.2. 襟翼制造质量控制的难点

首先, 制造过程控制本身难度较大。大飞机襟翼的成型过程, 是材料与结构同时成型的, 相当于将两个传统制造过程同时完成。不但在过程中工艺控制难度大, 而且要求制造技术控制精确, 使得整个制造过程控制起来变得比传统技艺困难。

其次, 先进技术的应用也加大了质量控制的难度。大飞机襟翼采用共固化/共胶接的先进工艺成型技

术, 在结构整体成型、零件与紧固件数量大大减少的同时, 一些缺陷被带入了最终产品中, 放大了制造风险, 给产品质量控制增加了难度[6]。

最后, 襟翼复合材料产品本身可重复性较差, 加之随炉试验数据往往具有较大分散性, 传统事后检验的质量控制方法根本无法达到质量控制的效果, 必须通过一整套先进质量控制体系来保证襟翼的制造质量。

3. 以工艺控制为中心的概念模型

3.1. 可控影响因素分析

先进复合材料襟翼代替传统的金属材料襟翼, 必须做到选材合理、工艺设计正确, 根据原材料的性质, 选择成型工艺方法, 确定工艺装备, 编制工艺规程。对于现阶段的襟翼制造过程而言, 这就是说必须对五个主要可控的影响襟翼制造质量的因素: 人员, 机器与设备, 原材料, 工艺以及环境因素同时进行控制(图 1)。

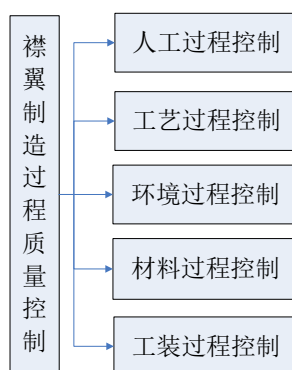


Figure 1. Five aspects of flap manufacturing quality control
图 1. 襟翼制造质量控制的五个方面

3.2. 以工艺控制为中心的思想

在现阶段, 大飞机襟翼复合材料成型工艺还要依靠手工操作, 工艺的稳定性 and 性能分散程度还不能令人满意, 因此工艺控制的难度就会很大。

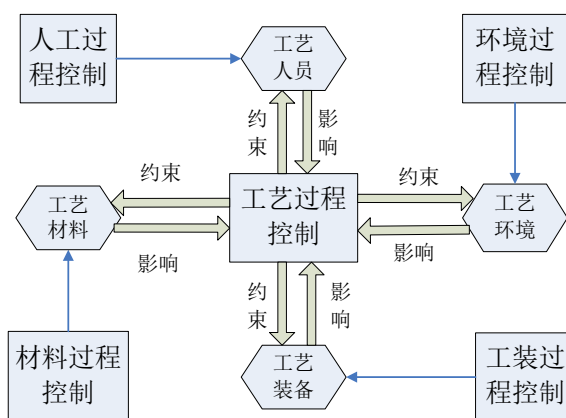


Figure 2. The idea of concentrating on process control
图 2. 以工艺控制为中心的思想

工艺材料, 工艺装备, 工艺环境, 工艺人员是工艺控制过程的四个要素。如图 2, 正是因为现阶段克服工艺质量控制中的缺点十分困难, 所以在处理这个问题的时候将工艺过程控制摆在了中心的地位, 以便将问题肢解, 用工艺过程控制的要求来生成对工艺人员, 工艺材料, 工艺设备, 工艺环境的约束, 这一系列约束保证了整个过程控制的顺利进行。

同时, 这一系列约束也就是人工过程控制, 环境过程控制, 材料过程控制, 工装过程控制四个方面的目标。约束条件是基于工艺工程控制的需要生成的。这种做法的目的是将薄弱环节(工艺过程控制)的肢解, 并入另外四个较易控制的过程中, 帮助控制核心过程。

4. 以工艺控制为中心的制造质量控制过程模型

以工艺控制为中心的制造质量控制的核心思想是将工艺过程放在首位, 关键是将工艺过程的难点, 切实通过基于工艺过程的约束转化到人工过程控制, 环境过程控制, 材料过程控制, 工装过程控制四个较易控制的方面。

4.1. 环境过程约束生成

根据机翼成型工艺的要求, 控制制造过程中的环境参数, 尤其是关键工序对温度、湿度极其敏感。例如, 襟翼复合材料整体成型时的温度, 必须介于华氏 65 至 75 度, 以及与之对应的湿度必须介于 46% 至 63%。这样, 根据工艺的环境要求生成对环境参数的约束, 并对其进行过程监控, 以保证对环境过程的控制。

4.2. 人工过程约束生成

“人”是生产管理中最大的难点, 是影响产品质量工作的重要因素。虽然通过各种管理措施可以控制大多数人为差错, 但是, 由于人为差错的随机性, 决定了产品质量形成的不确定性。同时, 人工过程的差错会导致严重的后果。对于“人”的管理往往是通过企业制度、规定、操作规范等来约束的, 而这些管理措施往往是事后的。这就要求企业对工艺, 设计等不同方面及时总结经验教训, 确保可以及时生成对人工工程的约束。

4.3. 材料过程约束生成

根据机翼成型工艺的要求, 要对机翼所用先进复合材料进行系统的质量控制。根据传统工艺规程, 在制造之前, 只对树脂材料测比重、粘度、凝胶温度等。事实表明, 这些指标远不能控制树脂的化学成分, 现已开始逐渐注意控制树脂的化学成分和化学特征。此外, 预浸料在存放过程中会逐渐自行固化。因此, 对预浸料的质量控制, 除鉴定化学组成外, 还必须检查预浸料自固化和吸湿的程度。这些基于工艺方法对原材料的要求就形成了对材料过程的约束。

4.4. 工装过程约束生成

工装设备就是指生产中所使用的设备、工具等辅助生产用具。生产中, 设备的是否正常运作、工具的好坏都是影响生产进度, 是影响质量形成不确定性的关键。根据机翼制造工艺的需要, 配置可以满足工艺需要的工装设备, 并保持这些设备在适宜状态下, 根据工艺的有关要求生成对工装设备的约束。

4.5. 工艺过程约束生成

对于整个工艺制造过程中约束的选择有时是十分困难的, 需要各个方面、各个专业人员共同分析确定, 把重点集中到某一点上[7]。所以, 最好根据大飞机襟翼制造特点, 应用较科学的工艺分析方法, 对

过程约束的选择做出决策。在整个决策过程中, 始终以工艺为中心进行。

一般来说, 科学的工艺分析方法确定过程约束有如下三种方法:

1) 以往报废数据归纳法。以往的工艺数据往往蕴藏着丰富信息, 以往的报废记录及报废原因分析尤其重要, 以此确定过程约束。

2) 以往拒收数据归纳法。以往的内部拒收数据同样包含重要信息, 可通过分析拒收原因确定过程约束。

3) 风险分析法。由于复合材料加工的襟翼产品缺陷有时是难以检测的。因此经过以相关工艺为线索进行的风险分析法分析出的工艺过程, 一定要加以控制, 生成必要的约束。

5. 工艺过程控制及应用举例

5.1. 工艺过程控制

对工艺过程的质量可以从两个层次进行控制。第一方面是各工艺参数的控制, 第二方面是各道工序工艺操作过程。前者直接控制影响产品性能的因素, 后者是工序过程中的主体, 受到人员, 材料, 机器及环境因素的影响。复合材料生产的许多工序严重依赖操作人员的熟练程度, 之所以将工艺过程控制摆到如此重要的位置, 就是因为工艺过程控制起来很困难, 而工艺参数控制起来相对较为容易。

5.2. 约束的分解方法

约束在确定后, 需要对其进行处理。因为相关约束难以测量, 需要向下分解到可测量为止, 必须要分解到工序及关键工艺参数上, 如复合材料成型速度、时间、处理温度、铺层深度等。从某种程度上讲, 需要工艺人员根据大飞机襟翼制造特点自定义一些便于工艺人员控制的参数以及变量, 这样, 对过程约束的分解以及定义, 会使得工艺过程更加成熟和进步。

图3是大飞机襟翼过程通过分解约束1形成的过程约束树。为了达到控制过程的目的, 就要控制过程约束2和约束3。如果过程约束3是不可测可控的话, 就继续分解过程约束3。直到底层约束都达到可测可控的程度。

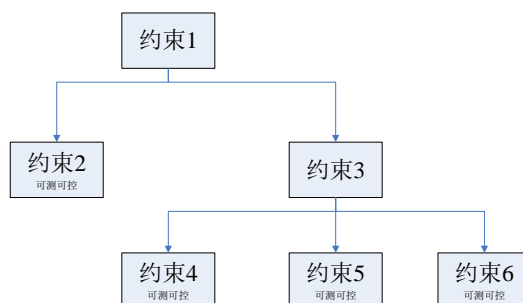


Figure 3. Constraint decomposition tree

图3. 约束分解树

5.3. 应用举例

针对大飞机襟翼质量不易控制的特点, 在原有工艺的基础上, 根据工艺需要分别增加了4项其他过程的约束如下:

- a) 禁止使用喷雾剂, 杜绝加工过程中的粉尘;
- b) 在成型或铺层前必须对空气进行净化过滤, 且需要严格控制铺层深度以及其误差;

c) 控制原材料结构密度、固化反应工艺参数之间和预浸料固化度的关系, 规定固化周期中关键工艺参数的上限和下限, 当工艺参数超过极限值、有超过极限值趋势或者超包络时将固化后的产品进行无损检测;

d) 在制造前检测原材料吸湿程度。

如表 1, 在增加了四项约束后, 工艺过程显得复杂了, 但是一次合格率提高了 13.7%, 不同批次的合格率波动幅度减少了 4.3%。

Table 1. Qualification rate after adding four constraints

表 1. 增加四项约束后的合格率

	原批次				更改后批次	
	01	02	03	04	05	06
合格率	63.20%	75.70%	68.60%	78.80%	82.90%	87.00%

6. 结束语

襟翼的制造质量将直接影响大飞机的总装。由于大飞机襟翼广泛采用先进复合材料, 使得对大飞机襟翼的质量控制方法必须有所革新。目前襟翼成型工艺过程中影响质量的因素颇多, 因此在进行过程质量控制的时采用以工艺过程控制为中心的办法是比较好的选择, 关键是将工艺过程的难点, 切实通过基于工艺过程的约束转化到人工过程, 环境过程, 材料过程, 工装过程四个较易控制的方面从而生成可测量可控制的约束。事实证明, 在制造工艺很难取得实质突破的时候, 通过这种办法可以部分提高制造质量并减少波动。

参考文献

- [1] 沈军, 谢怀勤. 先进复合材料在航空航天领域的研发与应用[J]. 材料科学与工艺, 2008, 10(5): 150-153.
- [2] 刘志存, 范玉青. 飞机制造中新型质量控制模式——关键特性统计过程控制[J]. 航空制造技术, 2007(11): 92-94+98.
- [3] Sullivan, W.J. (1989) Quality Control for the Manufacture of Composite Structures (AC21-26).
- [4] Bogucki, G., Mc Carvill, W., Ward, S., *et al.* (2003) Guidelines for the Development of Process Specifications, Instructions, and Controls for the Fabrication of Fiber-Reinforced Polymer Composites. DOT/FAA/AR-02/110.
- [5] Seresta, O., Gurdal, Z., Adams, D.B., *et al.* (2007) Optimal Design of Composite Wing Structures with Blended Laminates. *Composites: Part B*, **38**, 469-480. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.08.005>
- [6] 胡杰文, 冯振宇. 复合材料层合板结构制造工艺的质量控制[J]. 航天制造技术, 2010, 2(1): 49-57.
- [7] 王天成, 葛云浩, 沃西源. 先进复合材料成型工艺过程中的质量控制[J]. 复合材料加工, 2011, 2(1): 42-45.