

复合材料工艺的适航审定

Certification of Composite Process

谭永刚 张迎春 / Tan Yonggang Zhang Yingchun

(民航上海航空器适航审定中心,上海 200335)

(Shanghai Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Shanghai 200335, China)

摘要:

阐述并解析了运输类飞机适航规章对结构制造方法的内在要求,介绍了复合材料工艺适航审查的流程、验证级别、验证所需考虑的要素,以及为表明对适航规章的符合性,复合材料工艺规范应包含的必要组成部分以及各部分的编制要求。

关键词:复合材料;工艺规范;适航审定

中图分类号:V260

文献标识码:A

[Abstract] The nature of regulation requirement for fabrication methods of transport category airplane structure was explained. The procedure, test level and key factors necessary to consider during the certification of composite process were introduced. The necessary contents of composite process specification and the requirements for these contents were presented.

[Key words] composite; process specification; airworthiness certification

0 引言

随着航空工业的稳步发展,复合材料在民用运输类飞机上的应用不断扩大,并已经用于机身、机翼等主承力结构。同时,树脂传递模塑(RTM)和真空辅助树脂注入(VARI)等低成本制造技术也用于复合材料主承力结构的制造,例如波音 787 的机身环向框和空客 A380 的后压力框。复合材料结构的性能对制造工艺敏感,材料的最终性能在制造过程中被赋予到结构中。而复合材料制造工艺自身的复杂性和对外界环境的敏感性,使得复合材料结构制造工艺的适航审定面临严峻挑战。

1 规章要求

中国民用航空规章运输类飞机适航标准 CCAR25.605 条款^[1]对飞机的制造方法提出了如下要求:

(a) 采用的制造方法必须能生产出一个始终完好的结构。如果某种制造工艺(如胶接、点焊或热处理)需要严格控制才能达到此目的,则该工艺必须按照批准的工艺规范执行。

(b) 飞机的每种新制造方法必须通过试验大纲

予以证实。

CCAR25.605 的核心要求可以归纳为以下四点:

(1) 制造方法(以下简称“工艺”)的稳定性——应确保所生产结构质量稳定;

(2) 工艺适用性——应确保能生产出满足所有设计要求的结构;

(3) 若只有通过工艺严格控制才能达到(1)(2)要求的工艺,则需要为工艺建立工艺规范,并得到适航当局的批准;

(4) 新的工艺需要通过试验表明可达到(1)(2)的要求。

2 复合材料工艺审查的一般流程和要求

典型的工艺验证流程如图 1 所示,图中的局方是指中国民用航空局或其授权机构及人员。

通常工艺的稳定性验证可通过具有代表性的试片级、元件级试验件进行,试验件应至少来自于三个独立的工艺循环。

表 1 给出了复合材料关键工艺参数的典型公差范围,当工艺规范规定的工艺参数范围在此之内

时,可以认为工艺参数的变化来自于设备能力的随机变化,制造试验件的至少三个独立工艺循环可以将这种变异性在试验结果中体现,不必特意设定临界工艺参数。当工艺规范中设定的工艺参数范围大于表 1 给出的公差时,则可能需要人为设定制造

试验件的工艺参数用以考虑最不利的情况,例如考虑固化参数设定为最慢升温速率、最高固化温度、最长保温时间等极限组合情况,从而考虑在标准固化条件和极端固化条件下复合材料力学性能的变异。

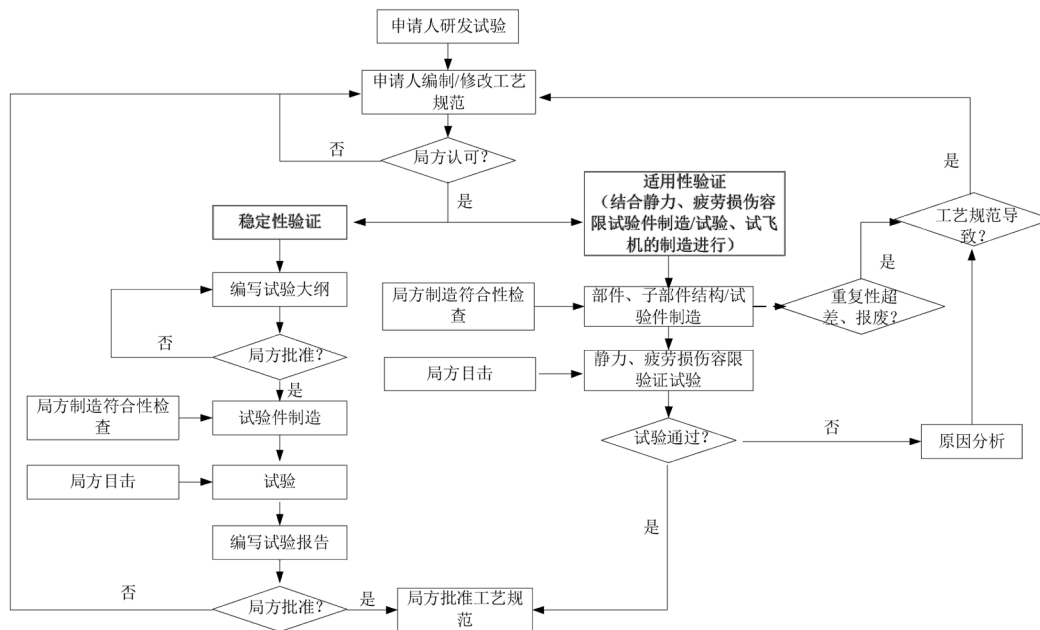


图 1 工艺适航验证流程

表 1 复合材料关键工艺参数的典型公差范围

工艺参数	典型例子	公差范围
温度	固化温度	$\pm 6^{\circ}\text{C}$
压力	热压罐固化压力	$\pm 0.034\text{MPa}$
时间	固化时间	0 ~ 15min
真空度	固化过程中真空度	$\pm 0.007\text{MPa}$
纤维方向	铺贴方向	$\pm 2^{\circ}$

一般而言,为降低适航取证风险,工艺的适用性验证在工艺稳定性验证通过之后进行,但在获得局方认可的情况下,工艺适用性验证可以与工艺稳定性验证同步开展。

工艺的适用性涉及到具体结构的大尺寸效应、模具的影响、温度均匀性等因素,需要通过足够级别(通常是子部件、部件级)结构的制造进行验证。由于静力、疲劳损伤容限的验证通常会涉及到较多的子部件、部件试验件,因此工艺的适用性验证可以通过这些部件级试验件的制造来完成。需要说明的是,在某些情况下,部件级结构上的工艺缺陷无法通过无损的方式检测出来(例如弱胶接),但可以通过静力、疲劳损伤容限等试验暴露出来,因此

对于静力、疲劳损伤容限等试验过程中出现的问题,若经分析表明为工艺导致,则需对工艺规范进行完善,并补充相关的验证工作。

3 复合材料工艺规范的审查

按照 AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》^[2] 要求,局方审查员需要对工艺规范的内容进行审查。审查工艺规范的目的是确保工艺规范对制造方法建立了必要而恰当的控制,且所有的要求是明确的,不会导致误解和混淆。典型的复合材料工艺规范除应包括 AP-21-AA-2011-03-R4 程序 7.10.2 小节中要求的一般内容外,特别要重点详述以下部分。

(1) 人员要求

工艺规范应包含对涉及到复合材料零件制造/检测人员的资质要求,以及对制造/检测人员的培训和考核计划。资质认证的考试应包括理论和实际操作两个方面。

(2) 材料要求

工艺规范应明确制造所采用的材料^[3],以及对这些材料的要求(可通过引用材料规范或其他标准

的方式)。这些材料包括结构制造材料(例如预浸料)以及消耗性的辅助材料(例如可剥布等)。当采用了等效的替代材料时,对具体替代材料应有明确的规定。

工艺规范应提供措施保证所有接触预浸料的材料不会对预浸料造成污染。同时应证明在制造过程中所有可能成为层压板中外来物的材料可以通过无损检测方法检查出来,采用的无损检测方法应是零件生产过程中实际采用的。

工艺规范应明确规定预浸料的冷藏存储条件和寿命限制(这些信息通常来自于材料规范),包括对过期材料的处理程序。工艺规范应定义预浸料在操作环境下的外置寿命,该寿命与操作环境的温度和湿度范围紧密相关。外置寿命应在材料鉴定过程中加以确定。图2给出了预浸料存储寿命和外置寿命的关系。

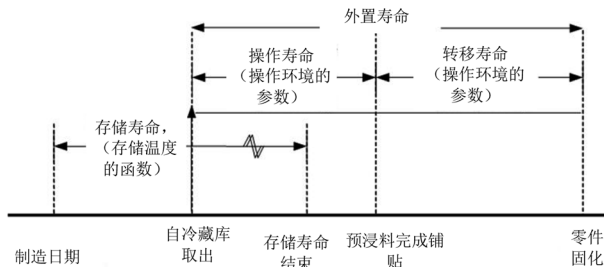


图2 预浸料存储寿命和外置寿命的关系

(3) 设备要求

工艺规范中应列出制造过程牵涉到的所有设备以及这些设备的来源、设备需要达到的标准、设备检验和校准要求。同时,工艺规范还应提供措施记录设备最后一次校准的日期和设备编号。需要校准的典型设备包括:烘箱、热压罐、热电偶、真空表、铺层加热装置(例如,热空气枪)等。

(4) 环境要求

复合材料的铺贴应在环境受控的洁净房内进行。洁净房内的温度、湿度、气压、气流分配、空气流速等条件都处于监控之中。工艺规范应明确规定对上述环境因素的控制范围和监控措施,同时还应规定对洁净房的定期清理程序。典型的洁净房温度/湿度环境要求包线如图3所示。对尘埃含量的控制可以通过过滤网、限制引入尘埃的操作和保持洁净房的正压差来实现。

(5) 工装模具的要求

工艺规范应列出执行制造所需要的所有工装模具。

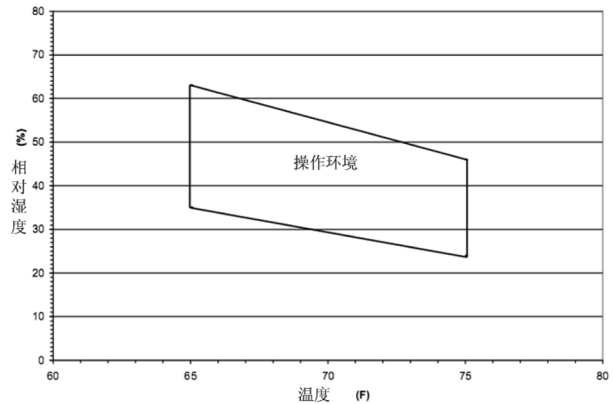


图3 典型的洁净房温度/湿度要求^[4]

模具应根据具体的工艺条件进行设计(例如,需考虑固化时的温度和压力)。所有的工装模具应明确标识,并存放在规定的条件下以避免损伤。工艺规范应提供措施确保预浸料铺层的定位精度能满足相关工程要求,同时还应提供措施将模具上的零度方向传递到零件上。

工艺规范应包含对所有的模具进行热测试的要求和通过准则,例如加热速率和模具表面温度均匀性。

(6) 零件制造过程要求

工艺规范应该对零件的制造过程做出详细的描述,包括铺贴程序要求、固化工艺条件、加工和装配要求、零件的标示要求等。

4 结论

民用飞机制造商应充分考虑影响复合材料结构性能的各方面因素,在充分地研发试验基础上编制内容完整的、逻辑清晰的、要求明确的工艺规范,并通过多个层次的试验进行验证,以达到“生产始终完好的结构”的适航规章要求。

参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. CCAR-25 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空总局,2001.
- [2] AP-21-AA-2011-03-R4 航空器型号合格审定程序[S]. 2011.
- [3] Quality System for the Manufacture of Composite Structures, AC 21-26A.
- [4] Guidelines for the Development of Process Specifications, Instructions, and Controls for the Fabrication of Fiber-Reinforced Polymer Composites, DOT/FAA/AR-02/110.