

复合材料机翼油箱盖板的制造和质量控制

Manufacture Process and Quality Control of Composites Cover Panel of Wing Fuel Tank

北京航空材料研究院 叶宏军 翟全胜
空军某部军事代表室 程 旭

[摘要] 介绍了采用开模膨胀橡胶法制造带加强筋的复合材料机翼整体油箱油箱盖板的一次共固化的工艺方法。针对初期制造的油箱盖板存在的比较严重的质量问题,包括翘曲、筋条尺寸超差、大面积分层及空隙密集等,提出了相应的设计修改、工艺改进和质量控制措施,最终制造出合格的制件,通过了功能试验和飞行考核。

关键词: 复合材料工艺 共固化 质量控制

[ABSTRACT] One-step co-curing process of manufacturing the composites cover panel with stiffeners for wing fuel tank by applying open expansive silicon rubber die is presented. In view of more serious defects existing in the parts of initial manufacturing stage, including warp, stiffeners size out-of-tolerance, delamination and dense voids, the corresponding design modification, process improvements and quality control measures, are introduced. Perfect parts are obtained eventually, and the function check and flight tests with these parts are passed.

Keywords: Composites process Co-curing Quality control

某飞机复合材料机翼油箱盖板是组成带整体油箱复合材料机翼的关键部件之一,其结构形式为带加强筋的壁板,长约 2 400mm,宽约 450mm,加强筋高度最大处为 16mm,最小处为 12mm,壁板最大厚度为 8.1mm,最小厚度为 3.4mm,筋条突缘均匀分布下陷,厚度变化大。筋条和蒙皮是共固化在一起的,且包覆在蒙皮铺层内,如图 1 所示。设计要求外形尺寸公差小于 5%,内部孔隙率不大于 1%,不允许有分层缺陷。

对于这种尺寸大、结构复杂的飞机主承力部件,本课题在国内首次采用膨胀橡胶开模共固化法的工艺路线,初期由于所用树脂体系为新研制的 5405 双马树脂体系,其热流变性能尚不够稳定,且制件本身结构复杂,导致制件质量问题较多。通过分析制件质

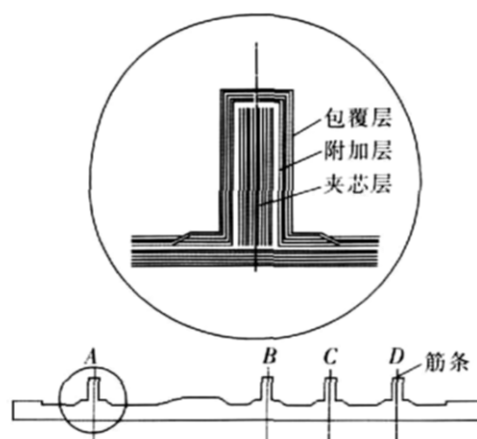


图 1 油箱盖板横截面示意图

Fig.1 Cross-section of composites cover panel of wing fuel tank

量缺陷产生的原因,采取了相应的工艺改进和质量控制措施,结果制造出了合格的零件,并且通过了静力试验和飞行考核。

1 工艺路线

复合材料机翼油箱盖板为带加强筋的结构,为保证筋条与蒙皮的整体性,筋条和蒙皮是共固化在一起的,且包覆在蒙皮铺层内,为保证筋条在包覆过程中保持一定的刚性,筋条铺层先进行一次预固化。

加筋板共固化成形工艺研究中采用了钢质芯模块^[1],这样成型出的筋条形状规整,但在实际制造油箱盖板的过程中,考虑到制件结构复杂,筋条附近有凸台和下陷,蒙皮部分有不同的变厚度区,使用刚性芯模块安放困难,容易造成“架桥”现象,且制件表面有一定的曲率,刚性模块会造成加压不匀,因此换用了硅橡胶制成的软模。

油箱盖板的制造工艺流程如图 2 所示。

2 材料

2.1 预浸料

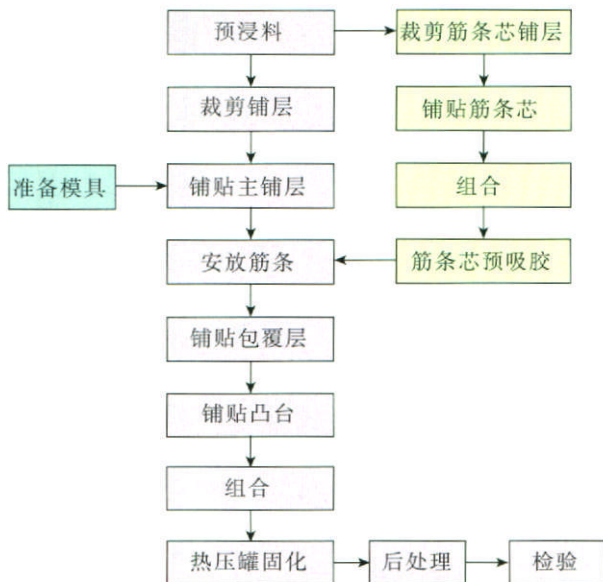


图2 油箱盖板的制造工艺流程

Fig.2 Manufacture flow chart of composite cover panel of wing fuel tank

为满足耐湿热和韧性的要求,复合材料机翼油箱盖板选用改性 BMI 的 5405 树脂体系,所用 T300/5405 预浸料由北京航空材料研究院提供,树脂含量为 34%~40%,挥发份含量小于 1.2%,单位面积纤维质量为 128~136g/m²。固化制度为以平均 1℃/min 升温至 130℃恒温 45min,加压 0.5MPa,继续恒温 15min 后升温至 150℃,恒温 60min,再升温至 180℃恒温 2h,全过程系统保持-0.095MPa 的真空度。后处理条件为 200℃下 4h,预固化条件为 85℃下 15min,真空度不低于 0.09MPa。

2.2 硅橡胶

成型芯模用的 R-311 型热膨胀硅橡胶,由成都有机硅中心生产。将 2 组分材料按比例混合均匀并在真空下脱泡后浇入模具中,待室温硫化后再在 200℃下处理 4h 定型,线膨胀系数为 2.8×10⁻⁴/℃。

3 制件质量状况和改进措施

按预定工艺路线制造的油箱盖板工艺试验件所存在的质量问题主要有:固化后制件翘曲、大面积分层、孔隙密集、筋条尺寸超差、有些筋条呈“T”形、无法与肋装配等。

3.1 制件翘曲

制件固化后发生翘曲与设计有关,油箱盖板为单面加筋的不对称结构,而蒙皮铺层设计为对称铺层,

0°铺层的筋条与其共固化后,蒙皮和筋条在固化温度下产生的热应变不能达到平衡必发生翘曲,通过对铺层进行分析并用工艺试验件进行了的多次试验,掌握了调整铺层顺序的规律,将其应用于油箱盖板的制造,取得了预期效果,所成型的制件与模具的贴胎度达到了设计要求。

3.2 制件大面积分层

制件发生大面积分层出现在后处理阶段,在自由状态下进行二次后处理时发生大面积分层。由于后处理温度(200℃)接近于 5405 树脂体系的玻璃化转变温度(245℃),此时其强度较低,当制件在自由状态下进行二次后处理时,制件在自由状态下释放的内应力就会在制件内部的薄弱处引发分层。因此,对制件的后处理制度进行了调整,将后处理与固化一次完成,制件在带压状态下进行后处理和冷却,限制内应力的释放。这样做还有另一个好处,就是可以进一步改善制件的贴模度。

3.3 孔隙密集

对于构成整体油箱的油箱盖板来说,孔隙的存在有可能导致油箱漏油,因此制件因孔隙超标而不能使用。这种孔隙密集存在于制件的某个部位,严重影响制件质量。经细致查找原因,发现是由于模具漏气所致。成型模具为铝板铆接结构,虽采用胶铆工艺,但所用胶不耐高温,模具经 200℃使用后,铆钉处密封失效。在常压下该处透气量很小,采用常规检漏方法很难找出泄漏点。而当成型加压时,在压力作用下,透气量加大,并在制件中形成贯穿气路,造成大量孔隙。通过对泄漏点进行密封,结果得到了无孔隙的合格制件。此后重新制造模具时,将模具改为钢板焊接形式,彻底解决了这一问题。

筋条与蒙皮之间产生空洞的主要原因是预吸胶后的筋条在安放到蒙皮上时,产生了架桥现象。解决这一问题采取的一个主要措施是在筋条下方加入适量的单向碳纤维预浸料,检测结果表明,采取上述措施后基本上消除了筋条下方的缺陷。

3.4 制件尺寸超差

由于油箱盖板尺寸较大,各点升温速率差异较大,从而引起制件厚度不均匀,以及外层和内层固化反应程度不同,为保证质量,在试验的基础上,我们对固化制度作了改进,即在 85℃附近滞留 15min,将加压保温温度降低 5℃。

油箱盖板筋条设计高度为 12.5mm,宽度为 9.8mm,开始制造的筋条尺寸严重超高超窄,见表 1。

表1 油箱盖板筋条尺寸 mm

项目	筋条编号			
	A	B	C	D
高度	14.8	14.3	14.9	14.7
宽度	7.6	7.2	8.3	7.4

有些筋条呈“T”形,无法与肋装配。原因是翻制的硅橡胶芯模块尺寸与钢质芯模块基本相同(仅有1%的收缩),升温固化时,硅橡胶受热膨胀,其体积膨胀率 ΔV 可由下列公式计算:

$$\Delta V = (T - T_0)\alpha_v - P/E_v,$$

式中, T 为固化温度; T_0 为室温; α_v 为硅橡胶体积膨胀系数; P 指成型压力和真空压力之和; E_v 为硅橡胶的体积模量,且 $E_v \gg P$ 。

在树脂未凝胶前,特别是在加压后膨胀受限的硅橡胶芯模块从侧面挤压筋条,使筋条变细并将预浸料向上挤出。结果筋条就变成“T”型截面。为保证筋条尺寸符合要求,就必须缩小硅橡胶芯模块的横向尺寸。其缩小量 ΔL 可依据上述分析用下式估算:

$$\Delta L = (T_g - T_0)\alpha' - \phi,$$

式中, T_g 代表树脂凝胶时的温度,对5405树脂体系为130℃; α' 为硅橡胶的线膨胀系数; ϕ 为硅橡胶芯模块制造时的线收缩率,约为1%。

由该式计算结果为硅橡胶横向几何尺寸应缩小2.1%左右。按此数据对硅橡胶芯模块尺寸进行了修正,结果制造出的制件筋条尺寸均能够符合要求,见表2。

表2 修正后制件筋条尺寸 mm

项目	筋条编号			
	A	B	C	D
高度	12.3	12.2	12.5	12.9
宽度	9.3	9.8	9.6	9.5

另外,为解决筋条截面形状不规整的问题,在筋条上方安放表面压平板,其厚度大于模块与筋条的高度差,这样得到的制件,不仅筋条形状规整,而且增大了筋条上方的压力,有利于消除筋条与蒙皮间的缺陷。

经采取上述一系列的质量改进措施后,制造出1块静力试验件,2块装机件,检测结果表明:试件内部无缺陷,贴模度和各处几何尺寸均符合图纸要求,分别通过了静力试验和飞行考核。

4 结论

在油箱盖板制造初期,由于所用5405树脂使用经验不足,工程化工作不充分,且制件本身结构复杂,导致制件质量问题较多。从国外使用双马树脂的情况来看,其分层缺陷发生的概率比使用环氧树脂大,因此预防分层缺陷应是制造双马树脂基复合材料结构首先要注意的环节。

从复合材料机翼油箱盖板的研制及其质量控制过程中可得出如下结论:

(1)用膨胀硅橡胶开模共固化法制造带加强筋的油箱盖板的工艺路线是可行的;

(2)为保证油箱盖板的质量,从铺层、固化工艺参数、模具设计等方面所采取的一系列措施是有效的,且具有通用性。

参 考 文 献

- [1] 刘卫平,倪荣根.复合材料加筋板共固化工艺研究.第八届全国复合材料会议,合肥,1994. (责编 晓霏)

我国民用飞机制造重点企业 加速进军国际市场

2008年12月24日,沈飞民用飞机有限责任公司获得了国际航空质量认证机构UL美华认证有限公司颁发的AS9100质量体系证书。这标志着,这家2008年7月才开始独立运营的中国民用飞机制造重点企业,已正式取得通向国际航空航天制造市场的“准入证”。

沈飞民机公司总经理庞真表示,公司最近已成功交付了首架转包生产的波音737-800飞机尾段,今后将进一步扩大国际转包市场份额,争取利用5年时间将出口销售额由目前的每年6000万美元提升到3亿美元。

近年来中国民用航空制造业能力快速提升,已成功融入全球飞机制造商供应链。国际权威质量认证机构之一的UL美华认证有限公司介绍,目前他们已向中国10多家航空制造企业颁发了AS9100质量体系证书,正在申请的还有30多家。据不完全统计数据,截至目前中国已有100多家航空制造企业通过了AS9100质量体系认证,表明中国航空制造业水平有了显著提高,正加速向国际市场进军。

(本刊记者 侧卫)