

民用飞机复合材料结构的适航性要求

长期以来,玻璃纤维增强塑料 (GRP) 在飞机结构中一直作为装饰壁板材料使用。但是近 20 年间高强度碳纤维增强复合材料 (CFC) 在飞机工业中的应用却在稳步增长。这种材料的强度-重量比不仅超过 GRP, 甚至可以高于传统的铝合金。在英国的航空航天工业中 1970 年开始使用 CFC, 其主要目的在于逐步将这种材料从次要结构扩展到主要结构。在军用飞机上现已用于主要结构; 而在民用飞机上这种材料仍局限于次要结构和飞行操纵面。CFC 在民用飞机上一个比较有效的应用是 A320 飞机的尾部水平安定面。一般来说, 复合材料飞机机构件的设计原理是根据金属飞机机构件的设计原理进行的。这在开始使用新型复合材料, 制造小型试验件以获取 CFC 在民用飞机结构中的使用经验和信心方面, 无疑是成功的。但是, 要想将 CFC 用于受力大的重要构件, 必须采取措施, 使 CFC 构件的设计和制造最佳化, 并提供可以满足上述要求的无损检验 (NDT) 技术, 从而满足其适航性要求。

CFC 结构的适航性要求

民用飞机金属结构的适航性要求已由欧洲、英国和美国的检定机构所确定。然而, 目前对于复合材料制造的民用飞机结构, 只能获得咨询性资料, 说明其是否符合适航检定规则。由于没有明确的适航性要求和统一的国际验收标准, 而只有有限的长期试验性能数据, 因此必须广泛利用结构试验程序, 严格论证制造质量控制控制和加强使用中的维护管理, 以便获得民用飞机复合材料结构的适航证书。

设计开发

在设计开发一个特定结构的开始阶段, 重要的是要网罗各方面的工程师, 其中包括材料知识、生产制造方法及无损检验技术等方面的专业人员。为使结构达到预期的设计参数, 正确地选择材料也是非常重要的。必须发展一种经济有效而且适用的制造方法。设计的结构形状必须与常用的无损检验技术相适应。为实现上述要求, 在每种构件的设计阶段一般都要制定一个研究和发展计划。此外, 要有相应的材料和设计数据, 最佳的制造方法和适宜的 NDT 技术, 其中包括: 超声检验、射线检验、胶接检验、声发射检验以及正在研究中的超声光谱术、实时射线检验术、涡流检验、温度记录法、声-超声技术及光学纤维等检验技术。随着设计和制造过程中主要材料设计数据和经验的积累, 今后设计飞机构件的研究和发展范围, 将

会逐渐减少。

结构试验

结构试验是复合材料结构获取适航证书的最重要步骤。它包括应用相当于该结构在使用寿命期内所承受应力的静载荷及交变载荷, 试验最重要部件的全寿命-尺寸结构。在结构中引入模拟的制造缺陷, 如分层及外来夹杂, 以便确定这些缺陷对结构完整性的影响并促进对制造质量的控制和验收标准的选择。这种结构还需置于潮湿环境中进行试验, 以便获得耐湿性能数据。然后进行结构试验。在试验期间应用各种 NDT 技术探测结构中存在的缺陷并选择最适宜的技术监控结构完整性。结构试验不仅证实了结构的承载能力以及对使用环境的承受力, 而且提供了获得结构适航性检定所需的数据。

制造质量控制

随着复合材料制造最后阶段的完成, 即树脂的固结和固化, 便产生所需要的形状。除检查形状和尺寸精度外, 重要的是保证材料本身要具有合格的质量而不含有有害性质的不连续性缺陷。为保证材料在制造期间的质量, 试棒与构件同时固化并用各种无损检验技术进行检验。最近, 制造质量控制出现了使用仪器分析技术 (即根据示差扫描量热法 (DSC) 和动力学分析法) 进行检验的倾向并用以评定复合材料的固化程度。虽然这种破坏性检验技术在控制复合材料结构的制造质量中起着重要的作用, 但由于不能保证固化件全部范围内材料质量的完全一致, 而且试棒不能揭示出备用件中不连续性缺陷的存在, 因此它们不能完全满足质量控制要求。由于上述两种局限性, 要求使用 NDT 技术对制造过程进行质量控制。在复合材料构件装入飞机结构期间, 钻孔、切削或铆接都可导致损坏。此外, 在装配、运输及贮存期间也可能发生意外损伤。含有这些缺陷的构件可经修理恢复。修好后构件的完整性需经 NDT 确认。

使用中的监控

结构试验的目的是保证使用中飞机结构的安全并且能够承受使用载荷和适应使用环境。制造质量方法能保证不用不合格或有缺陷的材料结构。尽管精确地控制结构试验和制造方法, 复合材料结构在使用期间的损坏仍不可避免。对于 CFC 材料, 由于湿度增加、化学侵蚀、热峰值形成、疲劳、过载、腐蚀、冲

击和雷击,都可能引起环境破坏。运输、检验和维护期间也可能发生损伤。由于使用环境的不确定性,普遍的要求是进行系统的无损检验,测定材料的各种破损,从而保证使用中的结构完整性。为满足这些要求并使适航性检定机构满意,需发展 NDT 技术并将其纳入飞机维护手册或分别纳入 NDT 手册。

修理和检验

通常,无损检验可以检查复合材料结构在使用中由于环境影响引起的破坏。如果损坏程度在设计允许范围之内,则不需要进行修理,但要记录破损位置并进行连续监控。如果损坏程度超过允许范围,则需通过必要的修理,恢复其性能或取消使用。如果损坏结构的整体性通过修理可以恢复时,可以制定适当修理计划。虽然质量控一般包括在修理计划之内,但仍要求使用无损检验技术保证修理的正常进行并恢复结

构的完整性。

综上所述,复合材料零件在民用飞机上的应用已有 15 年以上的历史。这种材料满意的使用性能必然导致其在高负载部位的进一步应用。可以设想,复合材料在大型民用飞机主要结构,如机翼上的应用,将随着制造方法和性能可靠性的确定而得到迅速发展。使用经验表明,机械损伤、水份浸入、热损伤和雷电损伤是引起复合材料结构损坏的最主要的因素。无损检验技术的现状可以探测机械破坏和雷电损伤引起的不连续缺陷,但不能探测热损伤和水份浸入。商业上的竞争迫使航线上的工作人员必须尽量减少民用飞机的故障时间。飞机结构,如操纵面、尾部水平安定面和机翼等都相当大,它们的绝对尺寸将意味着任何检验都要耗费大量的时间。

(白春涛编译自“Composites”1988.19 (3))

为拓展国际市场 为干线飞机打基础 航空热处理技术改造作出新部署

1989 年 8 月 15~20 在京召开了“航空热处理技术研讨会”。会议在航空航天部科技院制造技术处领导下,由六二一所航空热处理研究中心筹办。参加会议的有:航空主机厂、部分机载设备厂、有关院所及高校计 28 个单位 50 余位代表。部计划司、生产调度司、科技司、发动机总公司、科技院的有关领导亲临会议指导。

部热处理研究中心、四院、172 厂、132 厂、112 厂、331 厂、410 厂、430 厂等单位代表作了大会报告,交流各自在技术改造方面的成就和经验,提出今后技术改造方向、目标和措施设想及意见。大会后分组进行了深入的研讨,取得了一致的认识。

代表们认为:热处理是航空制造技术中保证产品性能及延寿的重要工艺之一,是航空产品转包生产取得外商认可的特种工艺,也是新机取得适航证的必检项目;技术改造应贯彻“航空为本”的方针,以转包生产和新机研制为目标,为干线飞机研制、生产打基础,提高全行业技术水平;技术改造应坚持高标准,以国际通用标准为目标,首先应以 HB5354“航空制件热处理质量控制标准”为依据;在引进先进技术和关键设备方面应尽可能走合作制造、补偿贸易的路子,加强消化吸收、国产化,配套完善,形成生产能力,同时必须强调以自力更生为主,充分发挥部内技

术优势。为此,应该加强统一领导,统筹规划,配套发展。会议希望进一步发挥部热处理中心在基础技术研究、技术攻关组织协调、制订标准、人员培训等多方面职能作用。

会议还提出了技术改造的几个主要方面:推进无氧化热处理技术,重点发展真空热处理和保护气氛热处理,以及保护涂料热处理等;发展氮基可控渗碳并改进其他化学热处理;引进空气循环电炉,消化吸收先进技术和组织工艺攻关,加速新型冷却介质的研制和应用;改造老设备,改善控温精度和炉温均匀性;重视仪表、热电偶和工艺材料质量,解决标准和定点生产;加强辅助设备设计、制造和改造;完善培训工作,提高行业人员素质。

会上还宣布成立航空热处理专业主任工程师组,六二一所为主任单位(王广生为主任)、四院为副主任单位(崔忠余为副主任),成员包括工厂、北航等 9 个单位各一名同志,由热处理研究中心刘忠秋任秘书。该组的主要职能和工作要求将另发通知。

会议经过讨论、协商,提出了近期技改攻关课题及远景规划初步意见。

这次研讨会完成了预定议程,对加快航空热处理技术改造将起指导性的积极推动作用。

(弘辛)