

飞机用复合材料的低成本制造 设备及工艺

Low-Cost Manufacturing Equipment and Process of Composites for Aircraft

中国航空工业发展研究中心 陈亚莉



陈亚莉

中国航空工业发展研究中心研究员。长期从事航空材料情报研究工作，曾获先进国防科技情报工作者等称号。

波音 787 已开始交付用户，A350 的格局已定，A320 和波音 737 将重新换发，F-35 正进入 20 年生产初期。飞机将成为下一个 10 年制造的主角，且将不再是以金属为主要结构的装备。

材料系统的选择以及结构设计业已确定，金属及复合材料之间的平衡也已肯定下来。在这种情况下，制造技术将进一步提高生产效率和降

低成本，即使材料及结构方面大的决策已定，在制造方面仍有充分的改进空间。

本文分析了复合材料低成本制造工艺及设备。指出在降低复合材料成本方面，制造技术有着广泛机遇，其关键是自动化设备。在低成本工艺方面，非热压罐技术潜力巨大，代表着未来的发展方向。

由于空客及波音已将下一代窄体飞机推迟到 2020 年以后，复合材料与金属材料之争已冷却下来，即使这样，先进材料及制造技术的发展仍有机遇，只是不同飞机的机遇不同罢了。

例如，对于 A320neo 和波音 737MAX 这样的飞机，要改变材料的机遇有限，而结构及技术仍将采用标准形式。但对于 A350-1000 以及 787-10 仍有更多的机遇采用新的制造技术。目前仍处在设计中的波音 777X 有可能做更多的变化，例如，采用碳纤维复合材料机翼。这些飞机在结构及材料决定之后，仍有大量降低及减重以及工艺改进工作。又如，F-35 仍在开发中，重点放在制造改进上，大量的手工劳动以及质量问题

仍有待改进。例如花大量时间来置入紧固件，由于紧固件类别不同，需要一方面看图纸，在蒙皮上做标记，然后再将紧固件置入蒙皮。

飞机复合材料结构正在开发一系列缩短周期、降低成本的先进技术。例如，从三维设计数据库中自动取出零件的几何尺寸数据是飞机制造商的优先项目。当飞机产量大或要求制造精度高时，需要自动化设备进入生产车间进行铺层、切削加工、钻孔及在生产线上进行检验。

铺层自动化

对于复合材料制造来说，自动化是关键。碳纤维可提供所需的性能改进，但产量必须提高，成本才能降低。波音 787、A350 以及 F-35 投产时就必须提高生产率。随着从手工铺层到自动化铺层，碳纤维在模具上的铺层就成了关键性的推手。



铺层速度至关重要,因为它决定了所需的投资。例如,GKN正在生产A350的机翼后梁以及整体化的后缘肋。每根梁需半吨材料,每月将生产13根梁。碳纤维的价格很高,因此铺层速度必须高,从而对材料、工艺以及检验方面的进步提出了迫切需求。

自动化有几种类型。一种是用机器人对铺层定位,进行手工铺层的“定位-铺层”;一种是自动化铺带法,可铺平面或微曲面的工件,其速度可以高,但复杂的零件则需要自动化的铺丝法(AFP)。两者均需专门的昂贵设备,不过情况正在起变化,例如,已有自动铺带与自动铺丝的组合,以及“挑选-铺放”的组合。这样可以不用AFP来铺小件。例如,英国布列斯托尔的国家复合材料中心正在开发多铺放头式机器人,可以在同一时间、同一工件上用不同的技术。

英国国家复合材料中心是首家使用带两个合作机器人铺放头的自动化AFP机器,该设备由法国Coriolis复合材料公司制造,GKN公司将其用作下一代复合材料机翼项目。

ATK公司也是首家用德国MAG机器制造公司Gemimi的用户,Gemimi是一龙门式机器人,可以在几分钟内转换自动铺丝及铺带,方法是转换及对接机器人。

MAG及德国航空航天中心DLR正在开发GroF1,它是在轨道系统上的8个机器人,机器人可以在同一铺丝机或铺带机上工作,每小时可以铺150kg。

在过去,一台自动铺放机在更换操作时,必须将机器停下来,更换模具,用手工铺织物。采用模块式铺放头时,可以不将机器停下更换操作。

除自动化铺层外,自动化钻孔也值得投资。F-35的外蒙皮90%的孔是自动钻孔。庞巴迪C系列的机身段采用龙门式机器人连接。

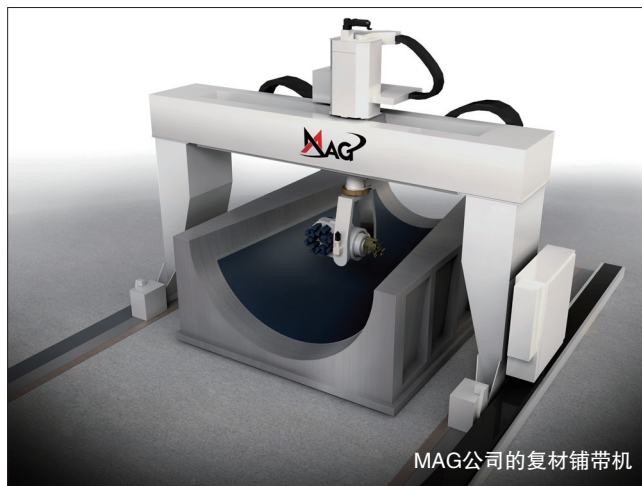
激光加工

复合材料构件固化后的切割与钻孔成为越来越大的挑战。随着结构越来越大,

切割与钻孔变得越来越复杂。碳纤维对刀具的磨损很严重,并可引起纤维损伤,而喷水切割又会使潮气进入复合材料。激光加工是一种有前途的解决方案。位于英国利物浦的约翰摩尔大学正在与工业界联合开发光纤激光器,该激光器成本低、切削速度高,激光束可沿光学纤维移动,易于与装配机器人实现一体化。该大学利用JK激光器公司提供的200W光纤激光器进行打孔演示,获得良好的孔边缘以及孔表面完整性,这种表面通常由手工喷砂或吹砂处理。除用于切割、切边以及钻孔外,其他用途还有激光铣切损伤层板,在复合材料消音衬里上钻小孔以及热塑性复合材料焊接。

自动化检测

由于隐身的需要,对F-35的外模线要求采用自动检验,测量台阶、缝隙以及紧固件的平滑度。随着结构变得越来越复杂,复合材料的自动化无损检验(分层及孔隙)成为关键工序。超声检验一般要求浸入水槽或喷水。现在非接触的激光超声检验,可以进行远程检验飞机构件。空客公司的EADS创新工厂与法国矿业学院用超声激光器检验复合材料前机身验证件,该验证系统由西班牙Techatom公司提供的铰链机器人将扫描头在工件上进行大面积扫描



MAG公司的复材铺带机

以及检查机身内部结构。短的激光脉冲可使工件快速加热从而产生超声波,超声波的回波由另一激光器接收。CO₂激光器可以向扫描头导引激光束。

复合材料构件的自动化装配

汽车工业用的自动化装配机器人正进入飞机装配线以降低成本及节省时间。庞巴迪计划用6台单臂式机器人连接C系列飞机的驾驶舱及机身段,可省40h以上。每一个12t的机器人将用来钻孔及嵌入紧固件。复合材料结构53s置入一紧固件,铝锂合金结构32s。波音计划用新的6坐标式自动钻孔及铣切机进行波音787复合材料机身筒体的装配。该机器人来自德国MAG公司,刀

尖用液氮冷却,以进行平滑的、高速的长寿命切削。德国弗劳恩霍夫机器制造研究所以及先进材料及CFK Nord研究中心正在研究进一步应用机器人,他们开发一种装配概念,即飞机切削及装配在一滚动装配线上进行,滚动装配线采用一小的机器人移动机体,连续完成固化、钻孔及铣削。一个可精确定位大飞机机身段的多用途止动器的首个关键件设计已完成,一个验证设施将在3年后运转。

低成本非热压罐固化工艺

复合材料的价值链非常短,供应链有材料供应商及机器设备供应商。供应链内的竞争使成本降低,但要成为供应链内的公司,热压罐及自动化

是进入门槛的障碍。复合材料的成本是企业扩大的障碍,而自动化是推动成本下降的关键,要购置这些装备需要足够的资金。

复合材料非热压罐固化(OoA)是在真空袋压力下炉内的固化,被看作制造大结构件、而又避免用热压罐、扩大供应基础的途径。非热压罐固化虽使工件性能有所降低,但综合成本效益高。

非热压罐固化一直因性能不如热压罐固化材料而发展受到限制,但新的材料呈现出与热压罐固化类似的水平,可用于主承力构件。例如Cytec供应商的复合材料就是如此。庞巴迪正用Cytec公司提供的非热压罐固化预浸料系统制造利尔喷气85的机身。加工时间无不同,成本却有降低。澳大利亚开发的Quickstep是一种固化工件的方法,它是在闭合模具内,采用加热及加压的液体来固化工件,已开始代替常规的热压罐固化,在F-35上验证,成本预计可降低30%。

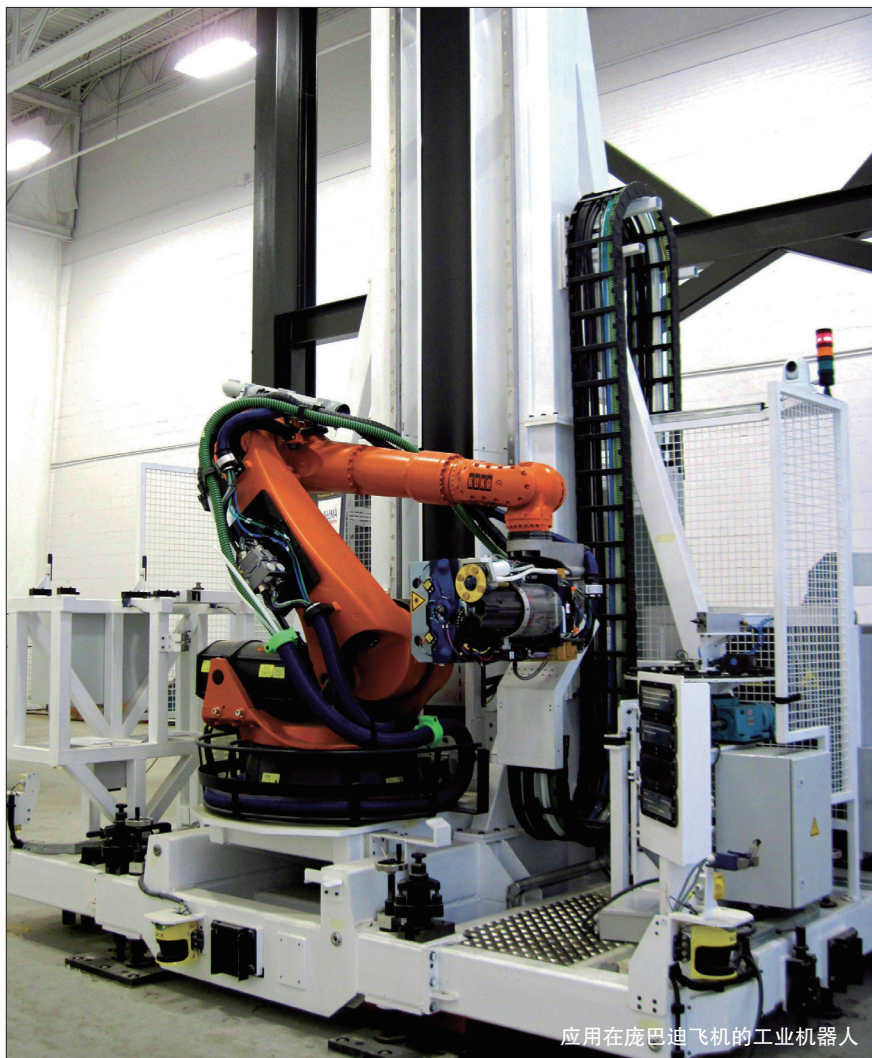
具有设计制造能力

复合材料结构供应商与金属材料结构供应商不同,不应只有按集成商图纸制造的能力,而应同时具有设计制造能力。这是因为复合材料与金属的性质不同。要充分利用复合材料的比强度、比刚度高,抗蚀性和抗疲劳性能好的优点,在设计初期将这些性能设计到产品中,制成一整体结构件,而非将多个件螺接到一起,但前提是必须了解传力路径。

结束语

本文分析了复合材料低成本制造工艺及设备。指出在降低复合材料成本方面,制造技术有着广泛机遇,其关键是自动化设备。在低成本工艺方面,非热压罐技术潜力巨大,代表着未来的发展方向。

(责编 三丰)



应用在庞巴迪飞机的工业机器人