

复合材料尾桨自动化制造 技术研究

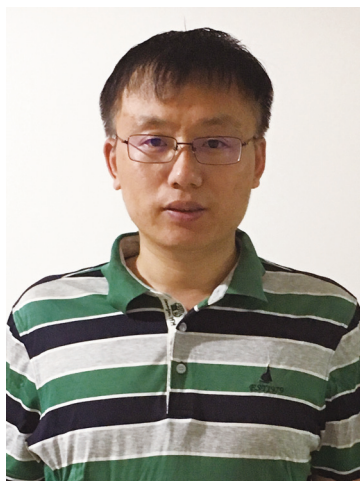
王志刚,徐福泉,刘启迪

(航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司,哈尔滨 150060)

[摘要] 无轴承复合材料尾桨作为直升机最重要的关键部件之一,其制造质量直接影响使用寿命,传统手工为主的制造技术已远远不能满足当前要求。研究了复合材料尾桨叶现有的自动化制造技术,在尾桨叶柔性梁成型过程中,使用自加温自加压成型系统,根据树脂黏性变化自主判断加压时机,实现了尾桨叶柔性梁的无故障制造。另外,通过采用胶接自加温工艺和自动化镗孔工艺,保证了尾桨叶制造的稳定性,大大提高了产品的合格率。同时结合当前现状,简述了尾桨叶制造技术的发展方向。

关键词: 复合材料;尾桨叶;柔性梁;自动化制造;模压成型

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.14.097



王志刚

高级工程师,主要从事先进复合材料自动化、智能化制造技术研究,发表论文 10 余篇。

由于质轻、可设计性强,耐腐蚀等优异性能,复合材料在目前和未来相当长的一段时间内作为航空航天器的最主要结构材料已成为业界共识。国际上,波音 787、空客 350 以

及空直最新推出的全复合材料结构民用直升机 H160,复合材料用量均超过 50%;国内近期推出或在研型号,复合材料用量也在大幅度提升。目前无论国内外,航空器的复合材料用量都已成为评价其先进程度的重要指标。而随着复合材料在航空器主结构件中的大量应用及构件日趋大型化、复杂化,自动化制造技术如自动下料、激光定位投影、自动铺带技术、自动铺丝技术及相互融合技术等已成为今后发展趋势。

直升机无轴承复合材料尾桨具有使用寿命长、操纵功效和可靠性高、维护简单等优点,使其成为旋翼技术的主要发展方向之一,也是第四代直升机的重要标志之一^[1],国外在 20 世纪 70 年代就开始研制直升机复合材料无轴承尾桨,并在 AH64、UH-60 等多种直升机成功应用。而国内无轴承复合材料尾桨研制则起步较晚,在理论及技术上与国外存在

较大差距。某型机尾桨叶为国内首次采用柔性梁连接的无轴承尾桨叶,其技术成熟度对国内该项技术的发展具有指导意义。以树脂基玻璃纤维复合材料为主要材料的尾桨叶,与金属桨叶相比,具有重量轻、耐腐蚀、比强度高、比模量高、疲劳寿命长等优势^[2-4]。另外,此种无轴承式尾桨叶在噪音控制上也有很大改善^[5]。它的制造工艺及质量要求极为严格,采用手工下料、铺贴和成型后,合格率不到 30%;为提高产品合格率和质量稳定性,采用自动下料、自加温自加压成型、自动化镗孔等自动化制造技术,可大幅提高尾桨叶的合格率。

尾桨结构及其主要自动化 制造工艺技术

复合材料尾桨主要由尾桨叶、柔性梁等组成,其结构见图 1。柔性梁和尾桨叶分别成型后,尾桨叶和中心

防磨布、支撑轴承垫块、衬套、搭铁片等零件胶接装配形成尾桨。成型和装配过程涉及的自动化制造技术主要包括柔性梁自加温自加压成型工艺、模压尾桨叶自动化成型工艺技术、胶接装配自加温工艺和自动化钻镗孔技术,见图2。

尾桨成型过程的自动化制造技术

1 柔性梁自加温自加压成型工艺

柔性梁作为尾桨叶中的重要连接部件,取代了轴承连接方式^[6],与桨叶本体采用胶接方式连接^[7],它具有一定的弯曲强度及刚度,承受着尾桨叶飞行过程中的挥舞、摆阵和变距运动,其结构见图3。在目前生产条件下,其主要由传统工装模压而成,人工控制环节较多,受结构特殊、混合使用树脂基复合材料^[8]以及批次

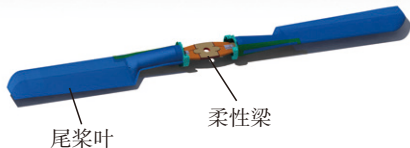


图1 尾桨叶结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of tail rotor blade structure

波动等因素影响,其合格率不高。此桨叶需求量大,但每件产品平均生产周期较长且故障率较高。

为提高产品合格率,保证批量化生产质量稳定性,尾桨叶柔性梁和中心区域预制片采用自动化成型方式。

1.1 中心区域预制片的自动化成型

柔性梁中心区域层间存在6层预先固化好的预浸料加强布,其结构为预浸料-胶膜-预浸料,如图4所示。传统制造工艺将预浸料用下料机下好后,按产品图纸要求进行铺层,然后将其放置在成型模内,真空处理后入炉固化^[9]。固化后剥离表面隔离布并对外形稍做修正,方可使用。但传统制造工艺存在产量小、预浸布边缘易存在边缘效应、手工修锉不够精准等弊端。

针对上述问题,通过新编下料程序、改变下料方式,能够直接加工出可一次成型多件零件的大块料,将大小不同的预浸料块按尺寸位置铺放到一起,周围预留工艺余量防止边缘效应,然后直接入炉固化,固化后的产品采用数控铣方式,进行内外形结构加工,保证尺寸一致性,避免人工

修锉带来的误差。该过程见图5。

1.2 柔性梁成型时间、温度、压力自动化控制

柔性梁成型制造技术的稳定性是尾桨叶制造技术的核心关键点。柔性梁成型的关键点主要表现为固化过程的时间、温度、压力控制^[10-11]。柔性梁主要原材料的树脂分别是无纬带、预浸玻璃布和胶膜,三者之间对应的树脂体系为3232A、3238A、SY-24C。由于大部分提供强度的预浸玻璃布已经在成型前预先固化,剩余起到填充作用的预浸玻璃布对产品固化过程影响较小,故优先考虑3232A及SY-24C。图6所示为柔性梁铺层。

通过两种树脂3232A及SY-24C的黏温曲线(图7)可以看出,相同温度时间条件下SY-24C胶膜的黏度较高但攀升缓慢,3232A无纬带黏度较低但攀升速度快。二者在黏度6000s左右时相遇且时间较短。根据此特点,制定了根据能量累积而确定加压时机相遇的方案:达到加压条件时,在加压窗口的数秒内迅速完成加压,瞬间压实所有材料,使整个固化过程更加稳定。

根据两种材料的特性,研制了柔性梁的自动化加温加压装置,如图8所示。操作过程中实现自动升降、水平移动、翻转、自动合模;加压过程采用传热油加热,实现温度的较精确控制;固化成型过程实现对柔性梁温度参数的动态感知,通过采集数据与预先设定经验数据库进行实时对比分析,自主决策固化加压时机,并通过控制系统驱动加压设备进行精准加压。

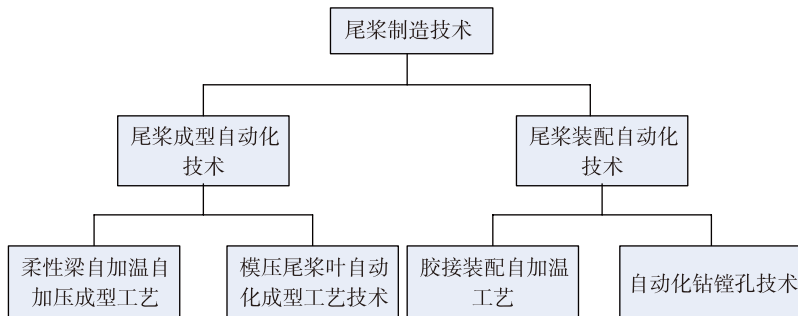


图2 尾桨叶自动化制造技术

Fig.2 Flow-process diagram of tail rotor blade molding

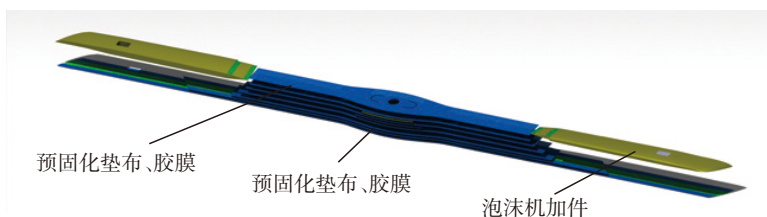


图3 柔性梁结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of flex beam structure

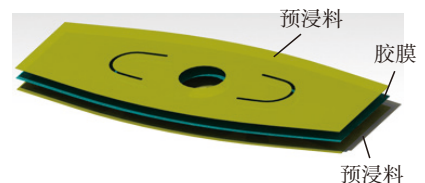


图4 预固化布结构

Fig.4 Pre-solidified fabric structure

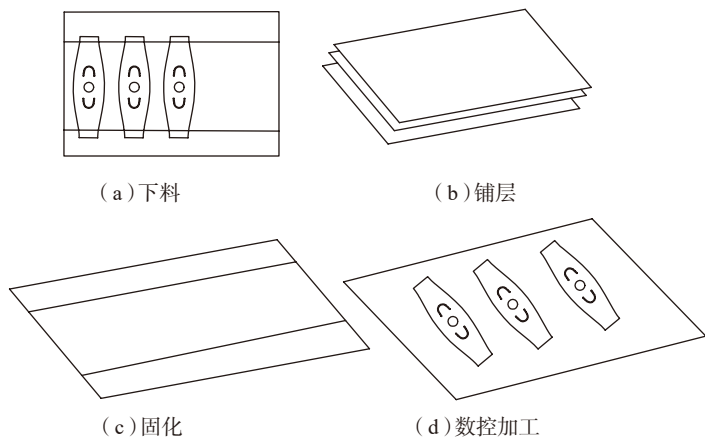


图5 预固化布加工过程

Fig.5 Pre-solidified fabric curing process

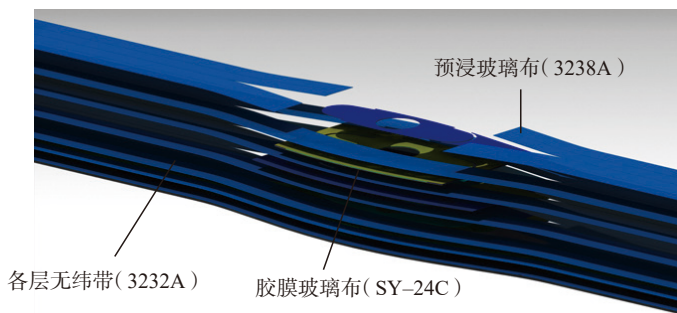


图6 柔性梁铺层示意

Fig.6 Leaf layer of flex beam

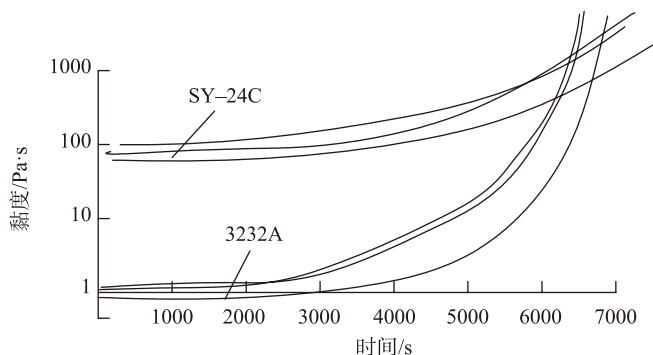


图7 各种树脂黏温曲线

Fig.7 Viscosity-temperature curve of various resins

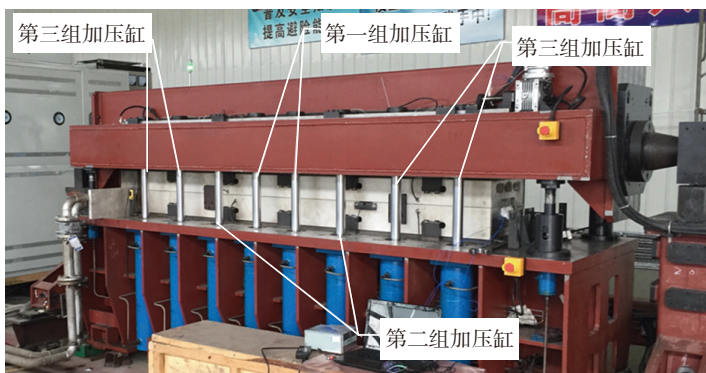


图8 柔性梁自加热加压成型模

Fig.8 Self heating and pressing forming mould for flex beam

2 模压尾桨叶自动化成型工艺技术

尾桨叶模压是尾桨叶制造过程的重要组成部分,为提高能源利用率,采用了自加热成型模成型尾桨叶。在成型模的上、下模体铺放尾桨叶蒙皮、泡沫和已成型的柔性梁等,然后自动升降、水平移动、翻转、合模,固化时温度实现了自动化控制。未来,采用自加热自加压成型模是非常必要的,可以实现温度压力的实时感知、分析、决策、控制功能,并与自动铺放技术^[12]相结合,实现智能化成型。

尾桨叶装配过程的自动化工艺

1 胶接装配自加热工艺

针对尾桨叶装配过程中的中心防磨布粘接工序,研制了一套胶接固化系统(图9),将胶接模具增加电加热加压组件,其中配有温度控制及记录系统,对桨叶需胶接位置进行局部加热,周边采用隔热层保护控制热影响区,解决了桨叶整体入炉固化成本高的问题,达到了提高工作效率和能源利用率的效果,并有效减小对尾桨叶二次入炉的损伤。

2 自动化钻镗孔技术

尾桨叶成型后,将进行桨叶胶接装配,该过程涉及精度较高的钻镗孔操作,本文使用复合材料数控铣切技术^[13-14],分三级钻镗孔(图10)。非钻镗工作面使用工装夹紧,并控制主轴转速和进给速度,保证了尾桨叶装配孔的精度和质量,使尾桨叶的产品稳定性得到进一步提高。

尾桨自动化制造发展趋势

我国航空工业自动化制造技术正处于快速发展阶段,现阶段生产线中仍存在信息化水平还有待提高、自动化设备互联程度差、检测手段单一的问题。有针对性地建设信息化系统与仓储物流系统,发展蒙皮自动铺放和自动化喷漆等技术研究,突破复合材料尾桨叶智能制造的关键技术,建立基于数字化技术全面应用的复

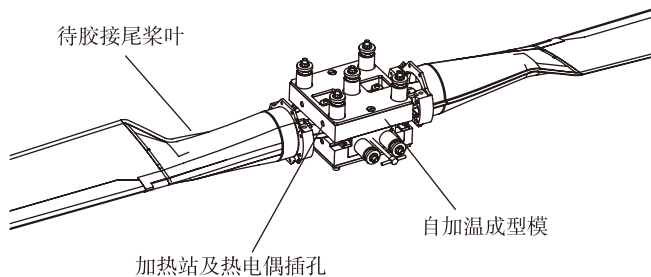


图9 中心布加热示意
Fig.9 Schematic diagram of central heating

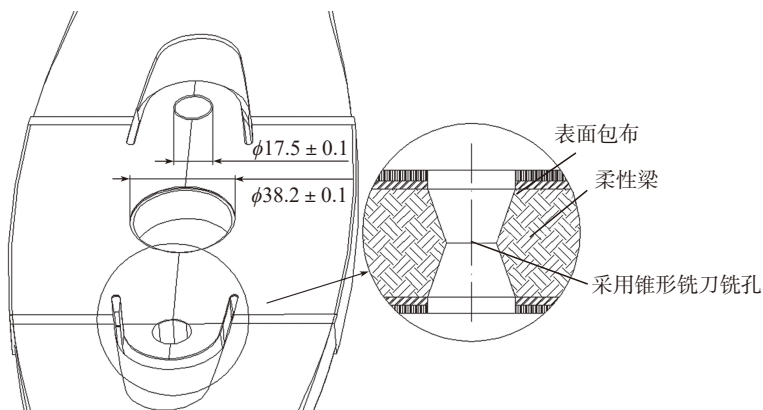


图10 钻镗孔示意图
Fig.10 Drill bore diagram

合材料尾桨叶智能制造生产线系统,形成复合材料尾桨叶智能生产线技术体系和标准规范,才能最终实现尾桨叶制造的精益化、可视化、网络化、数字化和智能化。

1 信息化系统

改进现有工艺、工装设计系统、3DCAPP软件,建立基于模型的工艺、工装设计软件,并与协同研制平台进行系统集成。针对尾桨叶,实现桨叶生产线站位设计、详细工艺设计,为下游生产管控系统、工艺装备等提供基于三维模型设计的PBOM、MBOM、工艺规程、数控程序、可视化模型等数据集。

2 仓储物流系统

现阶段我国物流产业存在智能化程度低、管理滞后等^[15]问题,基于航空制造企业网络安全问题,设计并实现有针对性的智能物流非常重要。根据企业实际情况,设计专用的AGV设施^[16]及立体存储设备,实现在线检测各工位工作周期,适时调整

运输频率,适应飞机产业的实际生产模式是十分必要的。

3 在线检测

智能检测技术^[17]的应用,可以根据实际情况,实现底层与数控设备的数据采集互联,中间层通过成熟软件进行数据采集与分析,顶层通过监控中心集中展示。此技术的应用可实时对产品数据进行分析比对,及时发现不合格品并辅助查找产生原因,最终实现产品合格率的提升。

4 自动化喷漆

以喷漆计算机精确控制出漆量,准确控制桨叶喷漆厚度及涂层重量,并且使整片桨叶涂层厚度均匀,避免因喷漆重量控制不准确影响桨叶静平衡、动平衡造成多次返工而影响桨叶喷漆效率,减少设备占用时间。自动喷漆机器人^[18]可实现自动调漆、自动喷涂,喷漆轨迹及出漆量由计算机精确控制,将极大提高喷漆效率和喷漆表面质量,准确控制桨叶漆膜重量。

结论

通过研究直升机尾桨叶自动化制造技术并对未来尾桨叶制造发展方向进行探讨,得出以下结论:

(1)尾桨叶柔性梁自加温自加压成型技术实现了对温度参数的动态感知,通过采集数据与预先设定经验数据库进行实时对比分析,自主决策固化加压时机,并通过控制系统驱动加压设备进行精准加压,保证了柔性梁的成型质量,大大提高了产品的合格率。

(2)尾桨叶装配过程采用胶接装配自加温工艺和自动化钻镗孔技术,保证了尾桨叶的装配质量,提高了工作效率。

(3)未来,应建设信息化系统、仓储物流系统、发展蒙皮自动铺放和自动化喷漆技术,并利用在线检测技术,最终实现尾桨叶的自动化和智能化制造。

参考文献

- [1] 曹义华. 现代直升机旋翼空气动力学[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2014: 1-12.
- [2] 杨乃宾, 倪先平. 直升机复合材料结构设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2008.
- [3] 孟雷, 程小全, 胡仁伟, 等. 直升机旋翼复合材料桨叶结构与选材分析[J]. 高科技纤维与应用, 2014, 39(2): 17-23.
- [4] 黄文俊, 程小全, 赵军. 直升机旋翼复合材料结构损伤容限设计中的问题[J]. 应用力学学报, 2014, 31(1): 67-72.
- [5] CAO Yihua. Aerodynamics of modern helicopter rotor[M]. Beijing: Beihang University Press, 2014: 1-12.
- [6] YANG Naibin, NI Xianping. Composite structures design for helicopter[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.
- [7] MENG Lei, CHENG Xiaoquan, HU Renwei, et al. Material selection in helicopter composite rotor blade structure design [J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2014, 39(2): 17-23.
- [8] HUANG Wenjun, CHENG Xiaoquan, ZHAO Jun, et al. Problems in damage tolerance design of helicopter rotor composite material structure [J]. Chinese Journal of Applied

Mechanics, 2014, 31(1): 67-72.

[5] 李学常, 李书. 无轴承式旋翼桨叶固有振动特性分析[J]. 航空动力学报, 2011, 26(6): 1237-1243.

LI Xuechang, LI Shu. Analysis of natural vibration characteristics of rotor blade without bearing[J]. Journal of Aerospace Power, 2011, 26(6): 1237-1243.

[6] 郭俊贤. 剪刀式无轴承尾桨柔性梁的设计与研制[J]. 直升机技术, 2004(2): 19-23.

GUO Junxian. Design and development of bearing scissors tail rotor flex beam[J]. Helicopter Technique, 2004(2): 19-23.

[7] 赵丽滨, 徐吉峰. 先进复合材料连接结构分析方法[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015: 183-215.

ZHAO Libin, XU Jifeng. Analysis method of connection structure of advanced composite materials[M]. Beijing: Beihang University Press, 2015: 183-215.

[8] 郭俊贤, 樊光华. 国产复合材料在直升机旋翼桨叶研制中的应用[J]. 直升机技术, 1988(3): 6-10.

GUO Junxian, FAN Guanghua. Application of domestic composite materials in the development of helicopter rotor blades[J]. Helicopter Technique, 1988(3): 6-10.

[9] 杨乃宾, 章怡宁. 复合材料飞机结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002: 21-41.

YANG Naibin, ZHANG Yining. Composite aircraft structure design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002: 21-41.

[10] 益小苏. 先进树脂基复合材料高

性能化理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

YI Xiaosu. Theory and practice of high-performance polymer matrix composite[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.

[11] 张玉龙. 先进复合材料制造技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

ZANG Yulong. Handbook of advanced composites manufacturing technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.

[12] 黄文宗, 孙容磊, 张鹏, 等. 国内复合材料自动铺放技术发展[J]. 航空制造技术, 2014, 57(16): 84-89.

HUANG Wenzong, SUN Ronglei, ZHANG Peng, et al. Development of automated placement technology for composite material[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(16): 84-89.

[13] 商宏谟, 辛节之, 赵炳桢, 等. 现代刀具设计与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.

SHANG Hongmo, XIN Jiezh, ZHAO Bingzhen, et al. Modern cutting tool design and application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014.

[14] 程勇, 聂海平, 崔博. 复合材料机械加工技术研究[C]//第17届全国复合材料学术会议论文集. 北京: 航空制造技术杂志社, 2012: 675-678.

CHENG Yong, NIE Haiping, CUI Bo. Mechanical cutting technology research for composite material[C]//Proceedings of the 17th national conference on composite

materials. Beijing: Aeronautical Manufacturing Technology Magazine, 2012: 675-678.

[15] 宋晨, 陈璐, 张泰阁. 基于物联网的物流园智能管理系统[J]. 科技创新导报, 2014(19): 186-187.

SONG Chen, CHEN Lu, ZHANG Taige. Logistics park intelligent management system based on internet of things[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2014(19): 186-187.

[16] 张艳珍, 夏继强, 满庆丰, 等. 基于嵌入式系统的AGV车载控制器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014, 14(8): 27-30.

ZHANG Yanzhen, XIA Jiqiang, MAN Qingfeng, et al. Design of on-board controller of AGV based on embedded system[J]. Microcontroller and Embedded System, 2014, 14(8): 27-30.

[17] 王仲生. 智能检测与控制技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.

WANG Zhongsheng. Intelligent detection and control technology[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnic University Press, 2002.

[18] 左世全. 我国工业机器人产业发展战略与对策研究[J]. 世界制造技术与装备市场, 2014(4): 41-45.

ZUO Shiquan. Research on the development strategy and countermeasure of China's industrial robot[J]. World Manufacturing Engineering and Market, 2014(4): 41-45.

通讯作者: 王志刚, E-mail: zhigangwang@163.com。

Automatic Manufacturing Technology of Helicopter Tail Rotor Blade

WANG Zhigang, XU Fuquan, LIU Qidi

(AVIC Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin 150060, China)

[ABSTRACT] The bearing-less composite tail rotor is one of the most important components of helicopters, and their manufacturing quality directly affects their service life, but the traditional handmade manufacturing technology is far from meeting the current requirements. This paper studies the exiting automatic manufacturing technology of composite tail rotors, and in the forming process of the flexible beam of the tail rotor, the self heating and self pressurization molding system is used to determine the time of the pressure according to the viscosity of the resin, and the perfect manufacturing of the flexible beam of tail rotor blade is realized. The stability of the tail rotor blade manufacturing is ensuring by using automatic heating and boring process in assembling, and the qualification rate of the product is greatly improved. At the same time, combined with the current situation, the development direction of tail rotor blade manufacturing technology is briefly described.

Keywords: Composites; Tail rotor blade; Flex beam; Automatic manufacturing; Molding process

(责编 逸飞)