

基于 PMAC 随动控制模式下自动铺带切割的研究

刘 林 文立伟 李 勇 肖 军

(南京航空航天大学,南京 210016)

文 摘 针对铺带机控制的特殊要求——铺带头主运动与超声切割运动子系统间的实时联动协调,采用可编程多轴控制器 PMAC 的随动模式与时基控制方式将两者的运动有机衔接,搭建了铺带专用开放式数控系统。系统以 PMAC 运动控制卡为核心、以工控机为上位机,且与多数字 I/O 板卡并行控制,很好的完成了铺带运动控制定位及预浸带随动切割,精度就可满足实用要求。

关键词 自动铺带,超声切割,PMAC,随动

Research on Tape-Cutting for Automated Tape Laying Based on Tracking Control Mode of PMAC

Liu Lin Wen Liwei Li Yong Xiao Jun

(Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract According to the special requirement of the CNC system for Automated Tape Laying (ATL), i.e. the synchronized movement between the main system of tape laying head and its sub-system for ultrasonic tape-cutting, tracking-control method and time-based mode from the Programmable Multi-axes Controller (PMAC) applied for different cases are described in this paper. With the upper CPU of industrial computer, PMAC is set for motion control as well as Programmable Numerical Controller for on-off control, which fulfills the required functions such as higher precision for machine position control and tracking control of tape-cutting.

Key word ATL, Tape-Cutting, PMAC, Tracking control

0 引言

作为一种先进的自动化成型方法,复合材料铺放技术在航空航天制造领域占有举足轻重的地位。针对自动铺带而言,主要应用于飞机机翼、机身壁板筒形件等大型构件制造加工,其制造效率及加工精度均优于手工铺带成品数倍。与普通数控机床不同,铺带机不仅运动轴数多、且在加工过程中必须同时伴随预浸带的数控切割,铺带质量优劣与带切割质量密切相关,切割及其控制是自动铺带的关键技术之一。目前,采用超声精密切割是最先进可靠的加工方案,数控切割是主要的控制方式。自动铺带的软件核心技术在于非可展曲面铺带的“自然路径”轨迹规划问题与铺带边界处理,若采用随动控制切割的模式,则使轨迹规划问题中的切割位置点的计算得以简化。

本文在自行开发的铺带专用控制系统平台上,利用高性能的可编程多轴控制器 PMAC 卡及其上位机

IPC 双 CPU 处理性与实时通讯的能力,辅助数字 I/O 板卡控制动作量,通过 PMAC 的随动模式与时基控制方式实现对铺带机各运动量与动作量进行实时控制,使铺带机切割子系统的运动能够精确与铺带头主运动系统协调,实现对复合材料预浸带任意角度的切割,以适应不同边界。

1 带切割原理及随动控制系统方案

自动铺带采用带背衬纸的单向预浸带进行机械铺叠,预浸带的剪裁、定位、铺叠、辊压均采用数控技术自动完成,由铺带机实现。多轴龙门式机械臂完成铺带位置的自动定位;核心部件铺带头上装有预浸带输送和预浸带切割系统,根据待铺放工件边界轮廓生成的切割指令自动完成预浸带特定形状的切割,预浸带加热后在压辊的作用下铺叠到模具表面,如图 1 所示。预浸带利用与背衬纸之间的黏性,由背衬纸带动完成输送功能。

收稿日期:2006-12-28;修回日期:2007-03-29

作者简介:刘林,1989年出生,博士研究生,主要从事先进复合材料自动铺放方面的研究

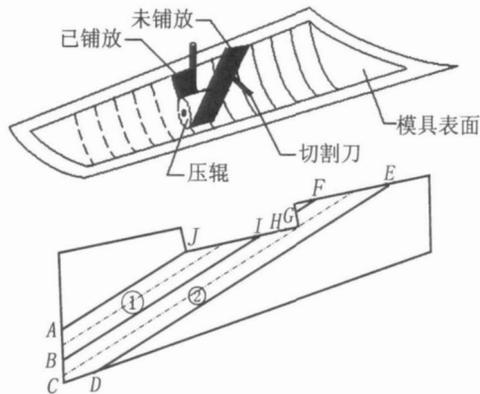


图 1 自动铺带与边界切割原理

Fig 1 Principle ATL and boundary cutting

构件边界的形成依赖于预浸带不同角度的切割,使所铺叠成型的预浸带与边界尺寸精确吻合,满足设计要求;考虑到铺叠过程的连续性,需要在铺放过程中对预浸带实时切割。从切割子系统空间角度观察,不同角度带切割主要是由送带运动与切刀相对预浸带的横向运动的合成。在铺放过程中送带轴的运动必须和由 5 轴龙门机械臂与芯模表面间的相对运动协调,若仅靠在 CAD 中计算出插补点的位置来实现运动中的带切割,则要依据压辊主运动所经过的弧长计算出预浸带平面上切割点在切刀横向位移,这对于轨迹规划非常困难,且精度难以保障。根据分析与试验,提出以预浸带输送运动为主运动,切割系统运动随动于送带轴的运动控制模式。PMAC 运动控制卡中有随动控制与时基控制方式等随动模式可供选择,不同的控制方式可达的效果有所差异。由于铺叠过程中的送带是被动和单调的,仅有单刀的数控切割只能完成单一边界的切割,如图 1 中的预浸带的 AB 和 U 边界、预浸带的 EF 边界;而对于预浸带的折线边界 BCD、GH 则需要双刀才能实现。

本文重点研究单刀随动切割模式,切割系统为 3 轴:切割横向进给轴 W、切刀转角 V 与送带进给 U 三个运动轴,可以实现单调斜边或曲边切割。欲实现复杂边界切割,可采用双刀切割模式、将切割系统扩展到 5 轴,整个铺带机系统的运动轴将扩展至 10 轴,但所采用的原理与方法是相同的。

2 铺带机数控及切割系统硬件结构

为满足预浸带铺放的工艺特性,本文构建的铺带机数控系统的硬件结构体系如图 2 所示。

铺带机专用数控系统由工控机、运动控制器、开关量控制板卡、I/O 接口、伺服驱动装置和电源驱动装置组成。作为数控系统的核心,工控机 (IPC) 负责整个控制系统的信息处理与后台操作;并向各下位机

发出命令,协调运动量与开关动作量的联合操作。运动控制器接收上位机的控制指令,以此控制各轴电机运动实现数控加工。本系统采用美国 DELTA TAU 公司的可编程多轴控制器 PMAC 作为运动控制器,同时控制 8 个运动轴同步实现联动。在线运行运动程序的同时监控 PLC 后台程序 (两者由于时序不同并不相互冲突)。PMAC 通过其扩展功能模块 (ACC - 8ES, ACC - 8FS) 连接伺服电机驱动器与步进电机驱动器,协调伺服电机与步进电机联动;使铺带主运动与随动切割子系统能够在同一时基平台上协调联动,随动精度得以保证 [1~3]。

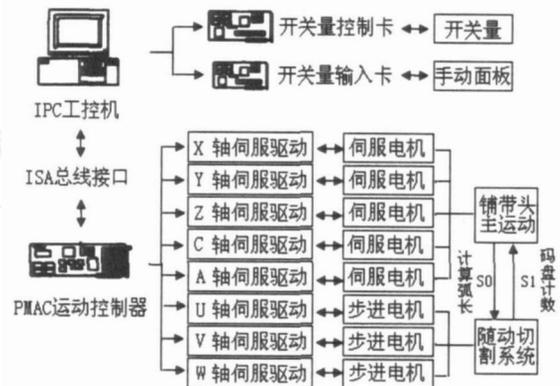


图 2 铺带机数控系统的硬件结构

Fig 2 Hardware frame of ATL system

3 铺带机数控及切割系统软件结构

为确保铺带控制系统的实时性,在铺放过程中与加工过程直接相关的关键任务不受其他任务的影响,采用相对较稳定的多任务操作系统 Win2000。它继承了 Win95、Win98 单系统多任务,兼容性强,可移植性好的特点;同时又具备 WinNT 实时性、稳定性好,网络功能强大等优点 [4]。

3.1 铺带数控系统的软件结构

铺带机数控系统软件是一个实时多任务软件系统,按照任务与加工控制过程的触发频繁程度,数控软件可分为实时任务和非实时任务两大类:直接与数控加工相关的任务为实时任务,除此之外的辅助任务为非实时任务 [5]。根据任务执行的时间不同,还可以分为周期性任务和突发任务:周期任务为有规律的周期性地执行,突发任务是随机的。

如图 3 所示,实时周期性任务主要包括运动控制和动作控制任务,是铺带加工过程中的核心任务,必须优先执行,不允许被其他任务抢占。实时突发性任务主要包括手动开关量控制与故障处理,当这些任务被触发时,系统应立即中断正在执行的任务,转入对这些事件的处理。处理完再恢复到中断前的状态。非实时周期性任务主要为界面显示刷新任务,周期性

的更新当前加工状态、各轴位置等信息。其主要目的是使操作者可以监控当前的系统信息。非实时性任务的优先级较低,只有当实时任务完全执行之后才能运行。非实时突发性任务是指实时性要求很低的任务,主要包括系统参数管理、零件程序的输入与编辑、代码预处理及其他辅助性操作^[6-7]。

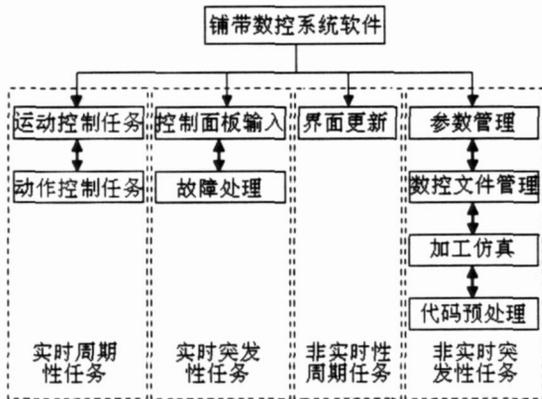


图3 铺带数控系统的软件结构

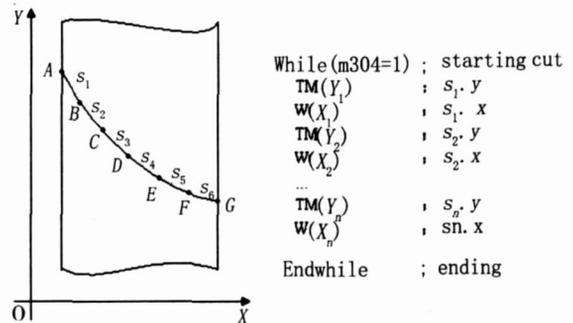
Fig 3 Software frame of ATL system

3.2 随动切割子系统的实现

铺带加工的运动控制有主运动和随动运动两种,主运动是指系统直接运行的运动程序,不受其他条件限制;而随动是指相对于主运动程序中某一个或多个轴的运动按某种规律精确跟随运动。铺带工艺要求预浸带超声切割系统与5轴定位机械平台既相对独立而又在某些特殊情况下必须跟随其运动的一个子系统。所以切割系统的运动方式必须采用随动系统来实现。这两种运动程序由代码解释器根据用户输入的数据自动生成,并通过PMAC设备驱动程序下载到PMAC中。运动程序执行的切换由PMAC运动程序中编写的PLC程序来实现。

事实上,铺带主运动和子系统随动之间唯一相互关联的是铺放过程中经过的弧长量,即实际铺放的长度,记为 s 。随动系统中的每个轴的运动都可以定义为以 s 为自变量的函数,记 $U = u(s)$, $V = v(s)$, $W = w(s)$ 。只要实时地计算出铺放轨迹中各点走过的弧长,就可以精确给定随动系统中每个点相对应的坐标位移。根据机器人手腕关节经典的DH算法,5轴定位机械臂末端点坐标 X_c 可以由各电机轴量求得,通过系列点的计算,可以获得各控制点间弧长,逐点累加得从起始点的总弧长 $S = s_1 + s_2 + \dots + s_n$,即可算出各点对应所走过的铺带长度。对于平面或曲率较小的可展曲面而言,控制点较密时可以用弦长替代弧长;对复杂非可展曲面则需采用多次样条插值算法确定弧长以保证精度。确定了预浸带在中心线方向上的相对位移后可以确定切刀横向逐点位移及切割角度参数,从而实现带边界任意形状的随动切割。

PMAC运动控制卡提供两种随动模式:一种是简单随动方式,即按比例单调跟随,主动和随动在预浸带切割面上合成的是直线运动;另一种为复杂随动方式,随动系统由多轴组成,各轴相对独立;而主运动系统可为单轴或多轴运动,但两者合成运动可为任意单调的折线或曲线。带切割模式有独立与随动切割两种:(1)独立切割模式,即切割角度为 0° ;此时主运动与随动切割相分离,主运动停止而随动系统以主动方式独立完成横向切割操作;(2)随动模式,又可细分简单直线斜切割与复杂曲线切割两种。对于直线斜切,只须采用PMAC卡中简单随动模式,将卡中参数i806置1来启用按比例跟随模式、依据切割角度设定相应比例参数i807-i809即可实现任意角度的直线随动切割^[8-9]。对于曲线切割,则要采取复杂随动模式,即PMAC卡中的时基控制模式。时基控制模式的原理是指基于某个特定轴的运动将其作为其他运动轴的时间基本单位,也就是说在这个指定轴运动的同时,其他的运动轴都以此轴的位置码盘反馈量为时间单位来执行运动;若此轴停止运动,他轴皆不动。根据时基原理,在给定复杂切割曲线插补点的条件下,对于不同时间段之间给出对应的运动距离与运动时间(送带距离),便可实现复杂曲线随动的精确切割。如图4所示,在曲线切割模式下,切割线轨迹被等分为若干插值点。任意相邻两点之间弧长 s_n 包含XY坐标方向信息 $s_n(X_n, Y_n)$,此即为时基模式下运动距离与运动时间的插补点数据。



(a) 随动插补示意图 (b) 时基控制算法程序示例

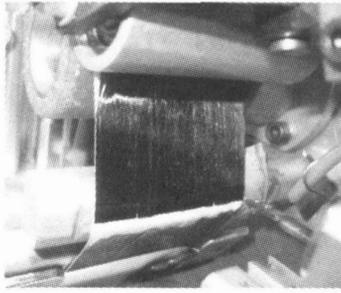
图4 时基模式随动切割与程序示例

Fig 4 Example of time based mode for tracking control and programs

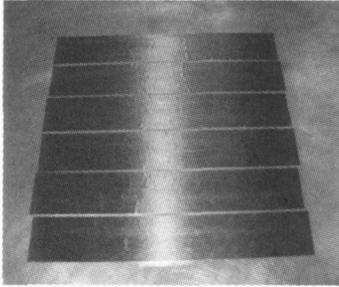
3.3 随动切割应用实例

经试验验证,铺带机已成功实现了用于 $1/4$ 层板的 $0^\circ/45^\circ$ 铺层的直线切割和斜线切割,见图5。

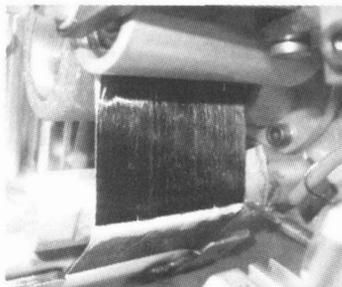
本系统的切割只有3轴,受限于单刀模式,当 45° 铺层的预浸带长边不在角点时,顶角处只能满足一边对齐,如图5所示。如需完成更复杂折线边界的切割,必须采用5轴切割系统(双刀),整个数控系统为10轴,相关的研究工作正在进之中。



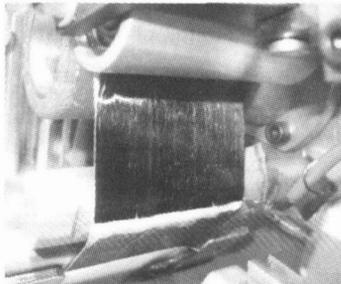
(a) 0 切割



(b) 0 铺层



(c) 45 切割



(d) 45 铺层

图 5 不同角度切割与相应铺层

Fig 5 Laminates of different cutting angles

4 结论

采用 PMAC I/O卡分别作为运动量与动作量的控制单元,很好的解决了多轴运动精度要求较高,切割随动系统与铺带主运动系统之间的协调联动问题。使切割问题在提出不同条件和要求时都能够较好的解决。

作为原理样机研究,现有铺带机在机械结构及控制系统软件设计都有待进一步完善:(1)单刀切割模式只能切割单调直线或曲线,国外铺带机已采用 10 轴联动(5轴主运动,5轴切割运动)双刀切割的工作模式,完全解决了各种复杂边界的切割问题。目前 CAD/CAM 软件所能设计和铺放的模型适于平面和可展曲面,复杂曲面的轨迹设计与规划仍在研究阶段;(2)在控制软件上,整个控制系统的实时响应性还有待优化和提高。

参考文献

- 1 Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC user's manual USA: Delta Tau Data System Inc, 1998
- 2 Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC hardware manual PMAC - PC USA: Delta Tau Data System Inc, 1998
- 3 Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC2 user's manual USA: Delta Tau Data System Inc, 2003
- 4 邵福,曾文火. 嵌入式实时操作系统在随动控制中的应用. 华东船舶工业学院学报, 2003; (6): 12 ~ 15
- 5 肖新皇,叶春生,王从军等. 三维激光扫描系统中随动控制技术的研究. 机床与液压, 2004; (12): 18 ~ 22
- 6 朱翠,芮延年. 基于 Matlab 机床控制系统非线性的仿真研究. 中国制造业信息化, 2006; (15): 25 ~ 28
- 7 金若君. 数字随动系统的研制. 机电工程, 2004; (8): 3 ~ 6
- 8 Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC hardware manual PMAC2A - PC/104. USA: Delta Tau Data System Inc, 2003
- 9 Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC software reference PMAC/PMAC2 USA: Delta Tau Data System Inc, 2003

(编辑 任涛)

欢迎订阅 2008 年度《腐蚀与防护》杂志

本刊是中文核心期刊、国家科技论文统计用刊,中国学术期刊综合评价数据库来源期刊,被国内外多家著名数据库收录。

《腐蚀与防护》归属应用技术类刊物,适合国民经济各领域的科技人员和管理人员阅读。主要内容:各种类型的材料腐蚀,腐蚀的控制与防护,包括:金属与非金属耐蚀材料,电化学保护,表面改性及覆盖技术(电镀、涂料与涂装、化学转化膜等),建筑工程防腐蚀,腐蚀监测与评价,失效分析,腐蚀经济学等。刊载文章注重理论对实践的指导,偏重先进的实用性技术的推广。主要栏目有:"试验研究"、"专论"、"应用技术"、"专题综述"、"标准化"、"实践经验"、"专题讲座"、"失效分析"、"知识介绍",以及国内外研究与学术活动动态等。

《腐蚀与防护》杂志竭诚为社会提供服务,欢迎企业来我刊刊登广告。

本刊为月刊,大 16 开本,每月 15 日出版,全国各地邮局都可订阅。

邮发代号:4-593,每期定价 8 元,全年 12 期,共 96 元。欢迎到本刊编辑部订阅。

宇航材料工艺 2007 年 第 5 期

订阅热线:021-65527634 联系人:王敏

编辑部地址:上海市邯郸路 99 号 邮编:200437

电话:(021)65556775 * 290, (021)65556775 传真:(021)65544911

E-mail: cp@mat-test.com 或 fsyh@sohu.com

— 49 —