

自动铺带超声切割技术研究

张建宝¹ 肖军² 文立伟² 齐俊伟² 刘伟¹

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 南京航空航天大学材料科学与技术学院,南京 210016)

文 摘 在分析自动铺带切割技术的基础上,指出了自动铺带超声切割技术的优势;基于自动铺带工况分析,对超声切割系统的性能进行了实验研究,尤其是对其稳定性进行了分析研究;通过超声切割系统可靠性实验,获得了满足自动铺带极限工况需求的超声切割系统控制方案。

关键词 复合材料,自动铺带,超声,切割,频率

Ultrasonic Cutting Technology of Automated Tape Placement

Zhang Jianbao¹ Xiao Jun² Wen Liwei² Qi Junwei² Liu Wei¹

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract Based on the analysis of ATP (automated tape placement) technology, the virtue of the ultrasonic cutting technology is presented. According to the working status of ATP machine, the experiment is designed for the ultrasonic cutting system, and the stability of the system is analyzed and studied. The control scheme is achieved via the ultrasonic cutting system reliability experiment, which is suitable for the limit need of the ATP working status.

Key words Composite material, ATP, Ultrasonic, Cutting, Frequency

0 引言

自动铺带技术集预浸带剪裁、定位、铺叠、压实等功能于一体,具有工艺参数控制和质量检测功能的复合材料集成化数控成型技术。自动铺带技术已经被欧美航空制造商广泛采用,应用于多种航空航天构件生产,如机翼(F-22)、全复合材料尾翼(Boeing 777)、水平安定面蒙皮(A330/A340)、中央翼盒(A380)等^[1]。

国内自动铺带技术研究较晚,南京航空航天大学 and 北京航空制造工程研究所先后研制成功了具有自主知识产权的国产自动铺带装备^[2]。航天材料及工艺研究所、南京航空航天大学、北京航空制造工程研究所、北京航空材料研究院和哈尔滨飞机工业公司等单位均对自动铺带工艺技术进行了研究探索^[3-4]。武汉理工大学和天津工业大学在自动铺带机机构设计分析、控制系统架构与仿真等基础研究方面开展了诸多有益探索^[4]。其中,自动铺带切割技术作为铺带装备的关键技术,受到各研究单位的普遍关注。

本文以超声切割技术在国产自动铺带机中应用为背景开展研究,并结合实际工况进行超声切割系统极限工况下稳定性和可靠性的评价研究。

1 自动铺带切割技术

自动铺带的核心技术在于铺带过程中预浸带剪裁、定位、铺叠、压实等功能的实现,如何高效高质量实现预浸带的切割操作,是自动铺带技术研究的关键。

自动铺带机预浸带有两种切割模式:一是分离剪切模式,即先将预浸带与背衬纸分离,用剪切方式完成预浸带的切割后,再将预浸带与背衬纸重新贴合;二是精密切割模式,即通过精确控制切割深度 $[(0.2 \pm 0.015)]$ mm,利用旋片刀或超声刀完成预浸带的切割,不伤及背衬纸。

分离剪切方式难以保证背衬纸与切割后的预浸带重新贴合质量,旋片刀则存在粉尘和噪音污染严重、切割精度较低等问题,且两者难以切割折线边界;超声切割不仅可控性好、切割质量高,且可通过三轴进给系统轻易实现曲面边界的切割,故超声切割已成为自动铺带机预浸带切割的必备技术,在国内外各类型的铺带设备上广泛采用。

2 超声切割系统

超声切割方法利用超声换能器,将电能转化为高频高压的电驱动信号,通过激励压电陶瓷形成机械振动信号,并通过变幅杆放大机械振动位移或速度,从而使变幅杆前端的切割刀附加机械能,利用附加机械作用切断纤维材料。和传统的机械刀具切割、激光切

割、水喷射切割相比,超声切割具有纤维切边干净整齐、纤维的损伤程度小、无污染等优点,并可精确控制切割深度,适于具有背衬的预浸带切割。

自动铺带超声切割系统(图1)主要由超声发生器、超声切割刀和超声切割机械装置三个部分组成。其中,超声振幅由超声发生器、超声切割刀以及控制气缸等共同确定,可通过千分测微器微调切割深度,以适应不同厚度背衬的预浸带的切割;超声切割机械装置具有横向进给W轴、切刀旋转V轴与送带进给U轴3个运动轴,控制超声切割刀的线性运动和角度旋转定位,从而实现各种预浸带边界的切割。

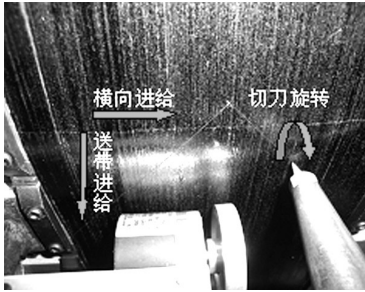


图1 超声切割系统

Fig.1 Ultrasonic cutting system

3 自动铺带过程

在复合材料自动铺带成型过程中,首先将铺带头移至铺放轨迹起点,并将预浸带切割成相应形状;预浸带首端切割完成后,再将预浸带首端送至铺带头主压辊处;主压辊将预浸带压实在铺放表面上,此后,铺带头便开始沿轨迹线运动;在铺带头运动至轨迹线上某指定点时,超声切刀转动至特定角度,并下压,开始预浸带末端切割操作;末端切割完成后,主辅压辊进行交换,改用辅压辊压实,并继续铺带至轨迹线末端。铺带头脱离铺放表面,并根据此条预浸带末端切割边界和下一条始端边界的异同,或将预浸带直接输送主压辊处,或将预浸带回卷至指定位置,进行下一条预浸带的首端切割。如图2所示,铺带轨迹1末端切割角度与轨迹2首端切割角相同,即边界相同,可直接将预浸带输送至主压辊处,而轨迹2和3间的边界不同,则必须将预浸带回卷切割后,再送至主压辊处。

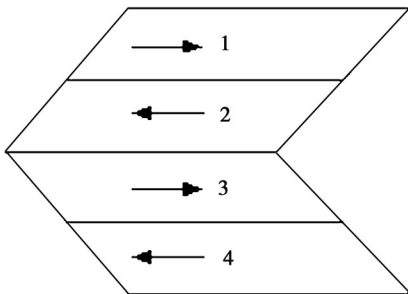


图2 铺带边界

Fig.2 ATP boundary

最后,将铺带头移至下一铺放轨迹起始点,以便开始新的铺带过程。由自动铺带过程可知,超声切刀

工作机制是间歇性的,并不用长时间连续运行。

4 实验

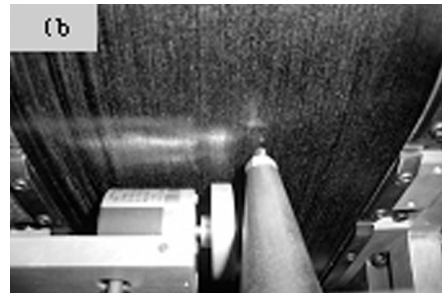
在自动铺带过程中,每条预浸带的铺放至少需要进行一次超声切割过程,切割过程不仅需要保证切割顺畅,并需要精确控制切割深度,不伤及背衬,更为重要的是保证切割系统的稳定性和可靠性,以保证自动铺带的铺放效率。

4.1 切割试验

为检验自动铺带超声切割系统的使用性能,在国内自动铺带机上进行了预浸带切割操作试验验证,如图3所示。



(a) 0°切割



(b) 45°切割

图3 切割试验

Fig.3 Cutting experiment

在切割试验过程中,切刀运行顺畅,且切割深度控制良好,预浸带完全被切断,只在背衬上留下了轻微的切痕。预浸带超声切割断面如图4所示,各铺层断面光滑,无毛刺。

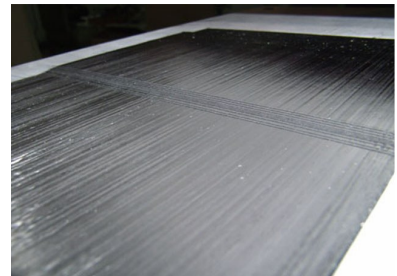


图4 切割效果

Fig.4 Cutting effect

4.2 工况试验

为了解超声切割系统在自动铺带过程中的稳定性和可靠性,根据实际工况,自行设计物理仿真试验平台,模拟自动铺带机超声切割的工作状态,如图5所示。此超声切割仿真平台具有切刀横向移动轴,切

刀旋转轴和刀架旋转轴 3 个运动自由度,且以美国 DELTA TAU 公司的 UMAC 为平台搭建控制系统,实现超声切刀切割点动操作和各进给轴的运动控制,以及两者间的协调控制^[5]。



图 5 超声切割试验平台

Fig. 5 Ultrasonic cutting experiment platform

4.2.1 稳定性试验

在预浸带连续超声切割试验过程中,随着切割次数的增加,超声电源频率呈单调变化趋势,如图 6 所示。在连续 10 次超声切割后,超声切割刀头温度上升至 57.5℃,在 12-13 次切割过程中,超声电源因升温超出切刀可调频率范围,导致超声电源报警暂停。通过多次试验验证和分析,可知:在超声切割过程中,由于切刀高频振动和切割操作,使切割刀头处的温度迅速上升,使其产生热变形,从而导致超声切刀共振频率的变化,超声电源频率在一定范围内自适应追踪共振频率,即电源频率(共振频率)随切割刀头处的温度上升单调下降;当共振频率超出电源频率追踪范围,则电源报警暂停。

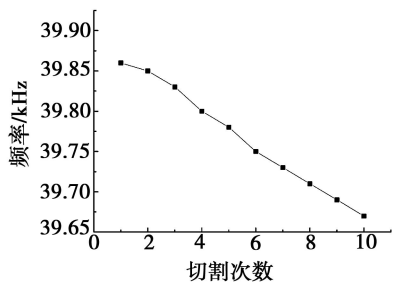


图 6 电源频率随切割次数的变化

Fig. 6 Power source frequency change with cutting number

通过以上分析,可采取调宽超声电源频率追踪范围和降低超声切刀温度两种手段,保证超声切割系统稳定工作,但采用扩宽电源频率追踪范围,仍使超声切刀刀体出现热变形,导致超声切割的深度控制精度下降,甚至因背切刃痕过深而断裂。故降低超声切刀温度是比较合理的改进措施。

藉此,在切割系统中加入风冷装置,在切割过程中降低切刀的温度。对预浸带连续超声切割试验进行改进,在每次切割之间设置间隔时间 10 s。

如图 7 所示,在引入人工间隔风冷后,电源频率随切割次数增加逐渐减小至恒定频率 39.71 kHz。在初始阶段,切刀温度随切割次数增加急剧升温,导

致电源频率随切刀温度迅速上升急剧下降;当切割次数在 40-80 之间,电源频率随切割次数增加,其变化趋势趋于和缓,即切刀刀体温度趋于平衡;当超过 80 次,刀体温度基本达到热平衡,故超声电源频率不再变化。据此可知,采用风冷降温的措施,可有效控制超声刀体温升问题,保证超声切割系统的稳定性。

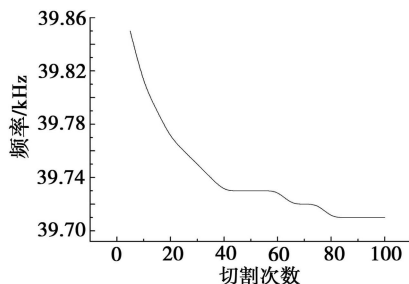


图 7 风冷状态下电源频率随切割次数的变化

Fig. 7 Power source frequency change with cutting number in state of air cooling

4.2.2 可靠性试验

为验证自动铺带超声切割系统的可靠性,根据自动铺带机实际工况,在物理仿真平台上进行超声切割刀程控间歇性往复切割试验,相邻切割时间间隔为 8 s。经试验验证,在连续间歇切割 1 400 次,超声切割系统仍处于稳定工作状态。此程控间歇性往复切割试验每 200 次切割为一组,共进行了 7 组。其每次切割完成后,切割电源稳定频率基本上处于同一位置,最大偏差为±10 Hz,具有较好重复性和可靠性。

5 结论

超声切割是自动铺带切割技术的发展方向。基于自动铺带工况,对超声切割系统的性能进行了实验研究,尤其是对超声切割系统的稳定性进行较深入的分析研究;最终通过超声切割系统可靠性试验,获得了满足自动铺带极限工况需求的超声切割系统控制方案。另外,此超声切割系统的性能仍需在自动铺带机实际工作状态下进行更为深入的研究,使其稳定性和可靠性得以进一步提高。

参考文献

- [1] 张建宝,肖军,文立伟,等. 自动铺带技术研究进展[J]. 材料工程,2010(7):87-91
- [2] 杜婷婷. 国产大型复合材料自动铺带设备研制成功[EB/OL]. http://www.frponline.com.cn/News/detail_32765.html[20101108]
- [3] 肖军,李勇,李建龙. 自动铺放技术在大型飞机复合材料结构件制造中的应用[J]. 航空制造技术,2008(1):50-53
- [4] 肖军,李勇,文立伟,等. 树脂基复合材料自动铺放技术进展[J]. 中国材料进展,2009,28(6):28-32
- [5] Delta Tau Data Systems, Inc. PMAC2 user's manual [S]. USA: Delta Tau Data System Inc. 2003

(编辑 任涛)