

铝基复合材料低频振动攻丝技术试验研究

张洪立 许奔荣

(中国海鹰机电集团 北京 100074)

文 摘 铝基复合材料内螺纹攻丝属封闭切削,加工难度大,丝锥极易折断。采用低频振动攻丝对该材料进行了内螺纹加工试验,包括振动攻丝效果、不同丝锥及不同参数进行了工艺优化试验,对攻丝质量进行了详细检测和评估。结果证明了振动攻丝工艺显著提高了加工精度、效率,且丝锥未发生折断现象,说明该技术有效可行。

关键词 铝基复合材料,低频振动,攻丝,工艺参数,正交试验,优化

Experiment Research of Low-frequency Vibratory Tapping on Aluminum-matrix Composites

Zhang Hongli Xu Benrong

(China Sea-eagle Electromechanics Co. Beijing 100074)

Abstract It is very difficult to tap inside Aluminum-matrix composites. The process is difficult to operate due to its close condition, and the tap is subject to breaking. Optimization experiments were conducted on low-frequency vibratory tapping including tap materials and other process parameters. The screws quality were checked and evaluated. The optimization results were proved to increase the operation precision and efficiency greatly, and the tap didn't break during the process. The result showed that low-frequency vibratory tapping was applicable.

Key words Al-matrix composites, Low-frequency vibration, Tapping, Parameter, Orthogonal experiment, Optimizing

1 前言

金属基复合材料(MMCs)中的铝基复合材料在惯性导航仪表、光学仪表、电子封装及内燃机等领域有广阔的应用前景^[1,2]。采用人造金刚石(PCD或CVD)或含钨钴硬质合金刀具和适当几何角度,在一定切削参数下可基本解决 MMCs 的精密加工问题^[3];但内螺纹攻丝尚没有彻底解决,在实际生产中,攻丝工序成为该材料机械加工的技术瓶颈。目前使用日本 OSG 高速钢丝锥,因扭矩过大常使丝锥折断,必须使用电火花加工取出断锥,生产率低,而且丝锥失效快,加工精度和质量难以保证。内螺纹攻丝成为 SiC/Al 材料推广应用的技术瓶颈。

源于超声振动车削取得的较好效果^[4],本文基于步进电机作振源对体积分数为 20% 的 SiC/Al 复合材料进行振动攻丝切削试验,对加工螺纹表面质量和精度作了详尽的考察,以确定优化的工艺路线和参数。

2 试验设备及方案

实验系统原理图见图 1,本系统中的 A/D 与 D/A 由 HY6022 数据采集卡来完成。

选择国产上海三圈及日本优质高速钢 EX—POT、粉末冶金高速钢 CPM—POT、细晶粒硬质合金 VX—OT 和氮化钛涂层 V—XPM—HT 丝锥进行攻丝试验。

收稿日期:2001-09-25;修回日期:2001-10-19

张洪立,1966 年出生,高级工程师,主要从事惯性仪表制造及复合材料技术研究工作

扭矩传感器用哈尔滨工业大学设计研制的精密钻削测力仪,灵敏度较高;动态电阻应变仪为 YD—21 型;数据采集卡为 HY—6022 型 A/D、D/A 板。

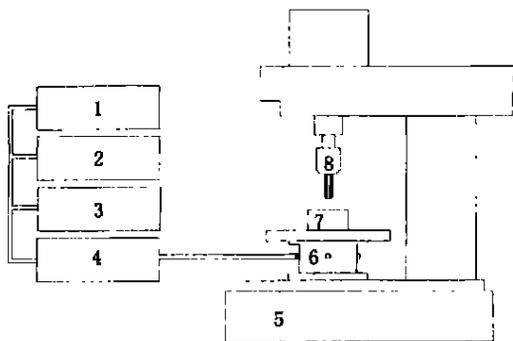


图 1 实验系统原理图

Fig. 1 Experimental schematic diagram

1—示波器;2—记录仪;3—D/A—计算机—A/D;4—应变仪;
5—攻丝机;6—扭矩传感器;7—工件;8—专用丝锥夹头。

3 攻丝试验及结果

为了全面考察对 SiC/Al 复合材料攻丝效果,进行了手动、振动攻丝类型,不同材质、切削角丝锥、工件材料的攻丝力学试验及耐用度试验。对攻丝过程中攻丝扭矩、丝锥磨损、螺纹质量与精度、加工效率等进行了检测。

3.1 测力仪扭矩标定

采用一根 1 m 长的轻质杆通过细绳连接砝码,滑轮使砝码重力水平作用于轻质杆端,形成轴向扭矩,对测力仪标定(见表 1)。由表 1 知线性度很好。

表 1 标定数据表

Tab. 1 Demarcating data

编号	砝码质量 /g	轴向扭矩 /N·m	对应电压 /V
1#	75	0.73	0.057
2#	125	1.23	0.130
3#	175	1.72	0.216
4#	225	2.21	0.289

3.2 单因素试验

先采用单因素法,对切削扭矩的规律进行总结,再采用正交多因素法进行参数优化。

试验中对 SiC_p/Al 复合材料做了大量不同参数的攻丝加工。图 2 为典型振动攻丝曲线过程,从图中可以明显看出振动攻丝中切削扭矩的变化趋势:丝锥刚开始攻入时,切削扭矩不断变大,到完全攻入时,切削扭矩保持稳定,攻丝完毕后退回,切削扭矩降低。在整个切削过程中,由于振动攻丝的特殊加

工方式,图中切削扭矩在小范围内有锯齿形的扭矩波动变化。

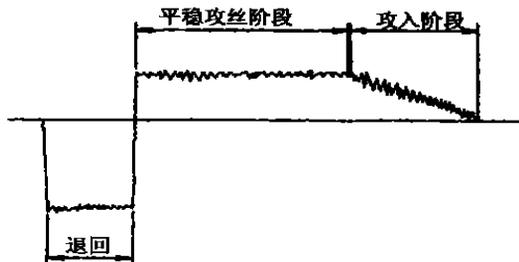


图 2 典型振动攻丝曲线过程

Fig. 2 Typical process of vibratory tapping

通过试验,分别得出振动频率与振幅变化改变切削扭矩的规律,图 3 和图 4 分别为不同振动频率、不同振幅相同振型(进 6 退 2)的情况下,振动攻丝切削扭矩的变化规律曲线图,图中数据点采用 B 样条曲线拟和方式处理。

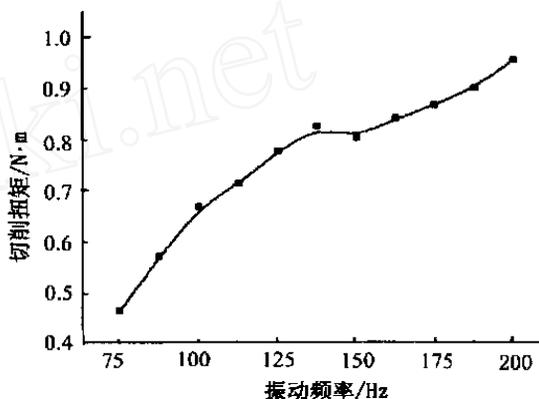


图 3 频率与扭矩曲线

Fig. 3 Frequency-torque curve

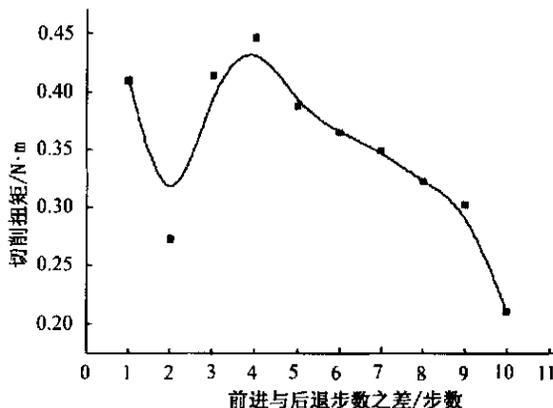


图 4 振幅与扭矩曲线

Fig. 4 Swing-torque curve

这些图均反映了振动攻丝时随着振动频率的提高,切削扭矩随之增大变化趋势。这是由于振动频率提高后,丝锥与工件摩擦剧烈,导致丝锥的摩擦扭矩急剧增大,而切削扭矩是由摩擦力和切削力叠加形成的,这就使得切削扭矩呈现如图3所示的趋势,切削扭矩为攻入阶段和平稳攻丝阶段的平均切削扭矩;在前进与后退步数不变的情况下,随着频率的增大,扭矩呈增大的趋势。

同时也对切削速度变化对切削扭矩的影响做了一定的分析。在振动频率保持为150 Hz不变、后退步数为2步、停止步数为2步的情况下,通过前进步数的改变,来使攻丝振型变化,达到改变切削速度的目的,从而得出平均切削速度与切削扭矩之间的关系。

由振动切削原理知当前进步数与后退步数差值增大时,即有效切削脉冲增大,可以提高平均切削速度和切削效率,根据它们之间的对应关系,通过改变有效切削脉冲数来定性分析平均切削速度提高对切削扭矩的影响规律。通过比较可以看出,随着有效脉冲的增加,平均切削速度提高,曲线变化规律类似于刀具切削过程中产生积屑瘤的变化规律。经过分析,认为丝锥在攻丝过程中可能产生了积屑瘤,因为被加工材料为SiC/Al复合材料,SiC颗粒体积分数为20%,大部分为金属铝,而铝金属加工时,容易形成积屑瘤,同时由于步进电机的步距角(0.72°)比较小,后退步数为2步,丝锥退回时的余量仅为1.42°,丝锥和工件的弹性变形恢复时足以将此余量抵消,产生的后果是丝锥切削刃并未和工件表面分离,结果形成了连续切削,随着平均切削速度的提高,产生了积屑瘤形成到积屑瘤消失这样的变化规律。

实际振动攻丝曲线见图5,丝锥材质VX-OT,最大扭矩0.071 V(电压),平均扭矩0.056 V(电压),振型(6-2-2-2-75)。

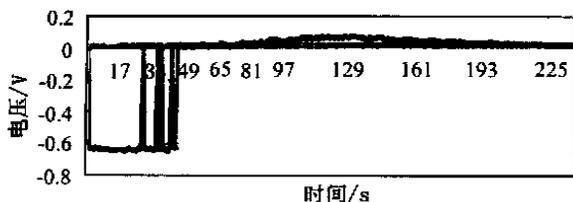


图5 实际振动攻丝曲线

Fig.5 Experimental curve of vibratory tapping

以上的实验证明选择合适的切削攻丝参数是有必要的。从振动频率对切削扭矩的影响来看,振动频率越高,扭矩越大,但是振动频率较低时,切削效率也较低,攻丝时间长,攻丝效果不明显。从振型对切削扭矩的影响来看,应该选择较大的有效脉冲数(N_q),但也要注意 N_q 增大,使得振动频率降低,攻丝效果变差。

3.3 手动、振动攻丝对比试验

使用两种丝锥和三种材料工件进行了手动、振动攻丝对比试验,结果见表2。由表2看出振动攻丝扭矩明显小于手动。

表2 手动与振动攻丝扭矩

丝锥	攻丝方式	SiC _p /Al	SiC _w /Al	SiC _w /Al(日)
国产三圈牌	手动	0.93	0.88	无法进行
	振动	0.38	0.44	0.75
VX-OT	手动	0.85	0.72	无法进行
	振动	0.26	0.36	0.54

3.4 丝锥耐用度试验

两种丝锥耐用度见表3,从中可看出VX-OT寿命较长。

表3 丝锥耐用试验*

丝锥	攻丝方式	SiC _p /Al	SiC _w /Al	SiC _w /Al(日)
国产三圈牌	手动	12	15	0
	振动	34	41	5
VX-OT	手动	-	-	0
	振动	-	-	11

*VX-OT丝锥对国产材料耐用度很高,试验未进行到底;0表示无法进行攻丝。

3.5 牙高率与扭矩试验

不同底孔(牙高率)攻丝试验见表4。试验结果显示在不影响螺纹强度(牙高率80%)的情况下,扩大底孔可减小攻丝扭矩。

为了考察不同牙高率对攻丝扭矩的影响,在SiC_p/Al工件上采用手动、振动攻丝分别对两种底孔进行了攻丝试验。振动攻丝振型为6-2-4-2;频率75 Hz;丝锥为国产三圈牌。

表 4 不同底孔攻丝扭矩

Tab. 4 Torque of different tapping hole

底孔直径 /mm	牙高率 / %	攻丝扭矩/N·m	
		手动	振动
2.46	100	1.25	0.48
2.56	88	0.44	0.21
2.6	80	0.41	0.18

3.6 参数正交攻丝试验

选择参数:转速 n ; 振幅 a ; 频率 f 。为简化计算,设定前提条件:前进脉冲和后退脉冲后的停止脉冲数均为 2; 最高脉冲频率为达到最大扭矩的 2 000 Hz。攻丝数据见表 5。

表 5 不同参数下攻丝扭矩

Tab. 5 Tapping torque at different parameters

a /(°)	扭矩/N·m		
	10 r/min	40 r/min	70 r/min
3.6	0.33	0.29	0.41
10.8	0.24	0.19	0.39
18	0.39	0.38	0.45

3.7 螺纹检测

攻丝试验完成后,用慢走丝线切割机床将螺纹从中心线切开(切口宽度 0.15 mm,基本不影响螺纹尺寸观测),螺纹质量见图 6。在万能工具显微镜下进行了各个参数的测试,结果见表 6,加工精度和质量提高很多。

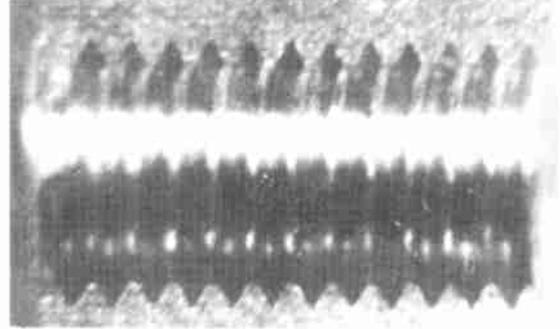


图 6 振动攻丝螺纹 21 ×

Fig. 6 Vibratory tapping

表 6 螺纹精度检测表*

Tab. 6 Screw checking

丝锥	振型	左牙形 半角	右牙形 半角	螺纹外径 /mm	螺距 /mm	表面粗糙度 /μm
VX-OT	手动攻丝	31°48'	28°37'	2.86	0.47	6.4
	6-2-4-2-75Hz	30°18'	29°39'	2.96	0.51	3.2
EX-POT	6-2-4-2-75Hz	30°31'	29°33'	2.96	0.49	3.2
CPM-POT	18-4-8-4-50Hz	30°15'	29°39'	2.96	0.49	1.6
V-XPM-HT	18-4-8-4-50Hz	30°19'	29°47'	3.0	0.49	3.2
三圈	6-2-4-2-75Hz	30°27'	29°37'	2.99	0.49	6.4

*数据为连续三次测量平均值;振型为前进—停止—后退—停止步数;尺寸与形状精度检测仪为万能工具显微镜;粗糙度测量采用比较法。

由结果来看,内螺纹加工质量与精度、丝锥耐用度、加工效率等都获得了较大程度的提高,没有发生丝锥折断现象,达到了钛合金振动攻丝的相似效果^[5-7]。

4 结论

(1)对 SiC/Al 基复合材料攻丝采用硬质合金和粉末冶金高速钢是理想的材质,而后者性能价格比更好,但需磨制。

(2)低频振动攻丝可大幅度降低攻丝扭矩、刀具磨损,提高切削质量、精度和加工效率及刀具耐用

度。

(3)对 20%(体积分数)的 SiC/Al 材料采用低频振动攻丝技术的合理工艺为:底孔保持螺纹牙高率为 80%,振幅为 10.8°,主轴转速 40 r/min。

参考文献

- 1 Ren D L. Study on the process of SiC_p/Al. Foundry Technology, 1999; (2): 54
- 2 张洪立,许奔荣,周海丽. 铝基复合材料在惯性导航仪上的应用分析. 宇航材料工艺, 2001; 31(3): 10~14
- 3 El-Gallab M, Sklad M. Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites. part I: tool performance[J]. Journal of Mat

《宇航材料工艺》征稿简则

来稿要求

- 1 来稿不宜过长, 著作稿一般不超过 5000 字, 综述一般不超过 7000 字(包括图表在内)。
 - 2 来稿应有 100 ~ 300 字以内的中英文文摘, 3 ~ 8 个关键词, 并附英文文题、作者姓名的汉语拼音、对外英文单位名称, 英文图题、英文表题。
 - 3 来稿一律用 Word 文档的打印稿(软盘在录用后寄), 外文字母、数学符号请用铅笔标出文种、大小写、正斜体, 上下角标要清晰可辨。
 - 4 严格采用国家最新颁布的法定计量单位, 数字后面单位均用符号表示(如 100 kg)。
 - 5 插图最大尺寸不超过 140 mm × 190 mm, 实物和金相图要用黑白照片, 所有插图集中装袋, 不要贴在文稿上, 而应在文章相应位置留出 4 行, 左右各空 2 格圈以框线下居中写出图号、图题和图注。物理量坐标标目以“物理量符号/单位符号”的形式表示, 例如速度的表示方法应为 $V/m \cdot s^{-1}$, 表格中的量和单位也用同样的方法表示。
 - 6 表格一律用三线表, 表中数据的有效数字应保持一致, 表格应放在首次提到该表的正文后面。
 - 7 著作稿请附本单位情报或科技部门推荐书, 说明稿件内容真实, 确为作者成果, 无泄密和侵权问题, 可以公开发表, 并默认可在 CA、IAA、METADEX 等国内外文摘刊物上及文摘型数据库中无偿摘录。
 - 8 请勿一稿两投, 本编辑部收到稿件后即函告作者, 三个月内决定取舍再告作者, 一经刊出即付稿酬, 并赠当期刊物 3 本。
 - 9 为配合中国科技论文统计工作, 向我刊投稿者请另附纸写明文题、作者真实姓名、性别、出生年月、技术职务(职称)、工作单位及主要从事的研究领域、通讯地址、邮政编码和电话号码。
 - 10 未刊用者恕不退稿, 请自留底稿, 顺致歉意。对刊用稿本编辑部有权删改。
- 来稿请寄北京 9200 信箱 73 分箱《宇航材料工艺》编辑部, 邮编 100076, 电话 68383269。
- E-mail: jzhang@netchina.com.cn