

五轴数控系统CFRP钻孔轴向力及圆度误差分析

徐艳萍

(河南经济贸易技师学院,机械工程系,河南省新乡市,453000)

摘要 选择碳纤维增强复合材料(CFRP)为研究对象,通过设定破坏判据建立CFRP钻孔工艺的有限元数值模拟方法,并选择硬质合金冠齿钻头并以DMU60五轴数控系统进行钻孔试验。研究表明:钻孔过程分为初始钻进、平稳钻孔和钻孔三个阶段,模拟计算结果与实测轴向力误差为8%左右,表明所建立模型满足精度控制要求。无论何种钻孔数目下,模拟计算结果与实测轴向力表现规律一致,验证了仿真模型的准确性。随着钻孔数目的增加,圆度误差不断增加。该研究对提高CFRP钻孔精度具有一定的指导意义,为后续的工艺优化奠定理论基础。

关键词 碳纤维增强复合材料;钻孔;刀具磨损;轴向力;圆度误差

中图分类号:TG659 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)06-0008-02

碳纤维增强复合材料(CFRP)具有高比强度和比刚度等优异力学特性,且具有高阻尼、尺寸稳定、抗腐蚀等性能^[1-2]。由于CFRP中包含了大量高强度碳纤维,从而在切削过程中更易出现工具与碳纤维之间的摩擦作用而导致刀具损耗的增加,增加了机加工过程中质量控制的难度^[3],因此开展CFRP钻孔圆度误差分析是很有必要的。

相关CFRP钻孔方面的研究吸引了很多的学者,取得了一定的研究成果。王天宇等^[4]建立钻削CFRP仿真模型,采用正交试验法开展钻削试验,发现对孔出入口处撕裂影响最大的是钻头直径,切削速度次之,进给量影响最小。陈逸佳等^[5]建立了CFRP钻削模型,运用ABAQUS软件对研究钻削中轴向力变化,轴向力预测模型能够较准确地预测实际过程,其最大误差不超过10%。肇启迪等^[6]通过实验研究了不同加工参数对直径为1mm的CFRP孔轴向力和钻削温度的影响,控制加工参数有效地降低轴向力和层间温度,提高成孔质量,表现出来很高的稳定性。

进行切削加工的过程中,刀具损耗是影响最终

尺寸精度的一个不容忽视因素。本项目选择CFRP为研究对象,建立了CFRP钻孔工艺的有限元数值模拟方法。选择硬质合金冠齿钻头并以DMU60五轴数控系统进行钻孔试验。

1 CFRP钻孔方案

1.1 仿真模型建立

为了对钻孔加工期间的轴向载荷变化过程开展仿真测试,选择ABAQUS/Explicit软件进行模型仿真。利用walter软件描绘了刀具几何模型,采用硬质合金材料加工得到刀具,再以网格划分的方法设置刀具单元,形成了图1所示的网格模型。

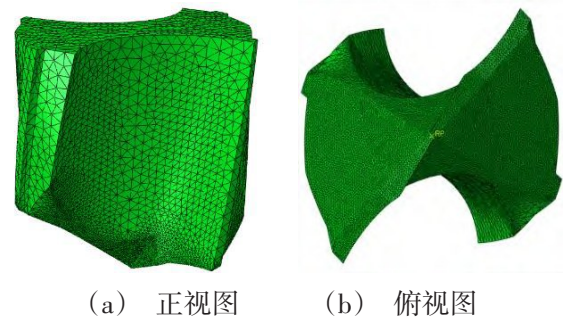


图1 刀具网格模型

设定CFRP工件尺寸为40mm×40mm×9mm,CFRP中每层厚0.25mm,再以预先设置的顺序完成铺层,共包含20层结构。

本试验中将刀具与各层CFRP外表面的摩擦系数设定在0.3,同时控制切屑自接触摩擦系数为0.2;钻头外层与CFRP内层的摩擦系数为0.3。

1.2 试验方案设计

作者简介:徐艳萍(1983~),女,河南新乡人,本科,高级实习指导教师,研究方向:数控加工、精密检测。

本试验在DMU60五轴数控系统上进行钻孔试验,该设备最大主轴转速为12 000r/min,输出功率额定值为15kW,同时最大进给速度可以达到30m/min。先通过Kistler9272型压力传感器对钻孔过程的轴向力进行采集,同时利用5 070A充电放大电路将测试数据传输到计算机处理系统中。图2显示了本次试验的处理平台。



图2 试验加工平台

本试验共设定了钻孔工艺,每一种工艺条件均按新刀具的顺序加工12个钻孔,再测量每一次产生的轴向力。

在可变工艺条件下钻孔时,设置了600~1 800r/min主轴转速区间内的四种参数。同时设定了0.01~0.04mm/r的进给速度,再进行钻孔处理,并对所得结果进行对比分析,以研究其机理。

2 结果分析

以主轴转速1 000r/min和进给量0.01mm/r的进给速度对建立的钻孔模型进行仿真测试,得到图3所示的结果。

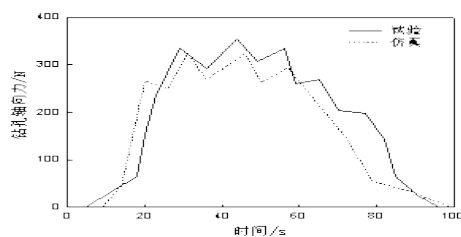


图3 CFRP钻孔轴向力仿真和试验结果

由图3可以看出,将钻孔过程分为初始钻进、平稳钻孔和钻孔三个阶段。研究表明,在假定磨损率较低的情况下,利用模拟轴向力的方式能够较好地预测切削参数。经验证,模拟计算结果与实测轴向力误差为8%左右,表明所建立的模拟方法满足精度控制要求。

设置可变工艺条件下,在试验过程中分别对五

组进行3次试验,并分别求取不同轴向力的平均负载。图4所示是通过试验数据和模型拟合得到的各种钻孔数目所引起的圆度误差变化。无论何种钻孔数目下,模拟计算结果与实测轴向力表现规律一致,验证了仿真模型的准确性。

进一步观察图4发现,随着钻孔数目的增加,圆度误差发生了不断增加的趋势。这是因为较多的钻孔数目会引起轴向力的增加,受工具的摩擦效应的影响会带来控制质量的困难,进而增加圆度误差。

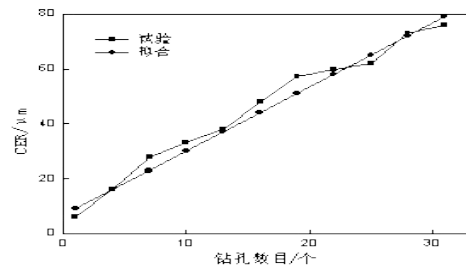


图4 CFRP钻孔试验圆度误差结果

3 结语

本文开展碳纤维增强复合材料钻孔轴向力及圆度误差分析,钻孔过程分为初始钻进、平稳钻孔和钻孔三个阶段。模拟计算结果与实测轴向力误差为8%左右,表明所建立模型满足精度控制要求。无论何种钻孔数目下,模拟计算结果与实测轴向力表现规律一致,验证了仿真模型的准确性。该研究有助于提高难加工材料的钻孔质量,为后续的工艺参数优化奠定一定的基础。

参考文献

- [1] 张月欣,杨明君,刘耿,等.CFRP的钻削加工研究现状[J].复合材料科学与工程,2021(12):120-128.
- [2] 苏飞,李枫,刘广涛.平纹编织CFRP制孔分层形成机制的热-力学理论建模及试验分析[J].机械工程学报,2022,58(23):271-283.
- [3] 赵永锋,李鹏南,李树健,等.CFRP/钛合金叠层板钻孔刀具研究进展[J].工具技术,2021,55(02):3-8.
- [4] 王天宇,金成哲,邵雍博.钻削参数对碳纤维复合材料钻孔质量的分析[J].制造技术与机床,2022(08):41-48.
- [5] 陈逸佳,陈燕,晏超仁,等.考虑刀具磨损影响的CFRP复合材料钻削轴向力预测[J].复合材料学报,2021,38(07):2207-2217.
- [6] 肇启迪,王共冬,王萌,等.钻削参数对碳纤维复合材料微孔钻削的影响[J].玻璃钢/复合材料,2019(12):62-66.