

环境微振动下超精密加工设备基础隔振分析

夏泓泉,范进,何嫣然,丁建国

(南京理工大学 土木工程系,江苏 南京 210094)

摘要:为研究超精密加工设备隔振基础的隔振效果,以某超精密加工设备为研究对象,设计了隔振系统,分析了系统对环境微振动下的振动响应,发现在 x 方向能得到很好的隔振效果。另外,通过调整隔振基础厚度和隔振弹簧刚度,分析了加工设备对外界环境微振动的响应变化情况。

关键词:超精密加工;环境振动;隔振基础;频域响应;隔振参数

中图分类号:TH161 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0037-02

Analysis of Vibration-isolated Foundation of Ultra-precision Equipment under Micro Environment Vibration

XIA Hongquan, FAN Jin, HE Yanran, DING Jianguo

(College of Civil Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To research on the vibration-isolated effect of the vibration-isolated foundation for the particular ultra-precision equipment, this paper takes an ultra-precision equipment as object of study, designs its vibration-isolated system and analyzes its vibration-isolated effect under micro vibration environment, the vibration-isolated effect in X directions is acceptable. Furthermore, its vibration-isolated effect can be improved by adjusting the status of the foundation and the stiffness of isolation spring.

Keywords: ultra precision processing; environment vibration; vibration-isolated foundation; frequency domain response; vibration isolator parameter

0 引言

精密和超精密加工设备是现代工业发展过程中的关键部分,许多高精密设备要求其自身和环境振动控制在允许值范围内,否则会对加工精度(如波纹度、光洁度、垂直度等)产生较大的影响。微振动虽然小,但是微量级振动所产生的影响却不容忽视。所以,微振动控制成为极其重要的一个课题。

近年来,国内对于隔振平台振动主动控制的致动器,如使用磁致伸缩材料、压电材料、电流和磁流变液体等新型材料的隔振装置进行了一些研究。徐登峰^[1]对超精密系统中的主被动隔振技术及相关隔振性能展开了讨论,分析指出主动隔振平台隔振效果较好;曹志彤等^[2]利用稀土-铁系功能材料进行超磁致微位移直线驱动器的研究设计,通过有限元分析其可行性;顾仲权等^[3]研究了磁致伸缩材料作动器在振动主动控制中的应用;盖玉先等^[4]研究了以GMA为作动器,采用人工模糊神经网络控制的超精密机床隔振系统。

本文以某超精密机床为研究对象,设计了隔振基础,通过ABAQUS有限元分析得到系统的动力响应结果,并

对隔振参数进行分析,研究其对隔振效率的影响。

1 隔振系统设计

本研究在超精密加工设备机床底部设置一混凝土独立基础,并在独立基础与机床间安装压空气弹簧振器;在独立基础底部四角安装压电陶瓷隔振器。

根据立式机床独立基础的设置要求,基础高度为 $(0.5+0.15H)$, H 为机床高度,m。本文研究的超精密加工机床尺寸为: x 方向长度为2100mm, y 方向宽度为1500mm, z 方向高度1767mm,取该独立基础尺寸2500mm×1900mm×765mm,采用C25混凝土材料,密度 2.5×10^{-9} t/mm³,弹性模量 2.9×10^4 MPa,泊松比取0.167。

取单个压电陶瓷隔振器尺寸为200mm×200mm×40mm, z 方向为极化方向,上、下表面电压分别为100V、0V,堆叠层数为1层。压电材料为PZT-4。

在超精密加工设备模型的基础上,建立隔振基础后的有限元模型。经计算得到其前10阶固有频率,见表1。由结果可知,经隔振后,系统的固有频率降低,且前10阶均在20Hz范围内,将研究关注的频率区间进一步缩小,更有针对性。

表 1 隔振前后系统固有频率对比

系统阶次	1	2	3	4	5
隔振前/Hz	7.548	10.077	41.038	55.324	70.931
隔振后/Hz	2.566	2.973	4.254	5.927	6.913
系统阶次	6	7	8	9	10
隔振前/Hz	78.652	94.037	103.810	178.800	209.020
隔振后/Hz	7.354	9.865	10.630	16.870	19.280

2 隔振系统振动响应分析

由文献[1]的分析可知,超精密机床对 y 向的响应较小,因此主要研究 x 向和 z 向的振动响应。考虑到环境振动频率低、时程长的特点,在频域对振动响应进行分析。

对隔振系统施加场地速度功率谱激励,分析得到 x 方向的振动响应功率谱。将计算得到的振动响应统计参数,即隔振前后的均方根值结果进行对比,见表2。

表 2 x 向加速度功率谱激励下系统的振动响应均方根值对比

响应位置	振动响应	输出方向	隔振前	隔振后	隔振效率/%
台面中点	位移/mm	x	4.09E-4	3.34E-5	91.83
		z	3.48E-4	6.82E-6	98.04
刀具切点	位移/mm	x	4.44E-4	2.33E-5	94.75
		z	3.9E-4	2.29E-6	99.41

对表2进行分析可知:

1) 隔振系统对环境振动的敏感频段在20 Hz以内,各振动响应的功率谱密度峰值基本集中在5 Hz以内,与隔振系统的前3阶固有频率2.566 Hz, 2.973 Hz和4.254 Hz基本相符;在5 Hz~20 Hz的频段内,各振动响应的量级明显降低;

2) 从响应输出位置来看,隔振系统的刀盘切点和台面中点的振动响应规律基本一致;

3) 从位移响应来看,系统在 x 向隔振效果明显,隔振率最高为98.09%,而 y 向响应在隔振前已基本满足精度要求,因此隔振效率没有 x 向明显;

4) 对于不同方向的激励,隔振系统台面中点 x 向位移响应均方根值最大为 3.35×10^{-5} mm,即33.5 nm,均能满足50 nm的限值要求,隔振效果良好。

综合以上分析可知,隔振系统在频域内的响应能够满足加工精度的要求。

3 压电陶瓷堆叠层数和上下表面电压差对隔振效果的影响

压电陶瓷单片的电位移与施加在其上下表面的电压有关,多层压电陶瓷堆叠后的电位移与堆叠层数和电压有关。为考虑堆叠层数和表面电压对隔振效果的影响,设置3个对照组,每1个对照组中分压电陶瓷单片、双层堆叠和三层堆叠,第1组(图1)上下表面电压差设置为50 V,第2组(图2)为100 V(基本模型电压),第3组(图3)为150 V。

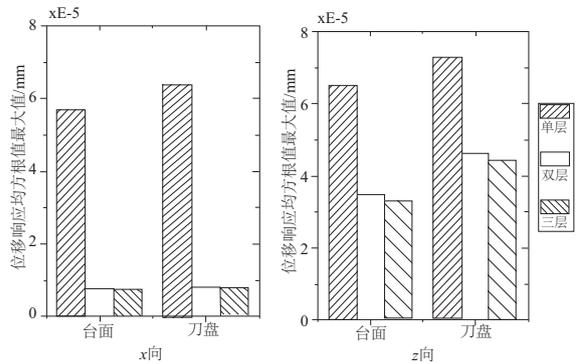


图 1 第 1 组位移响应比较

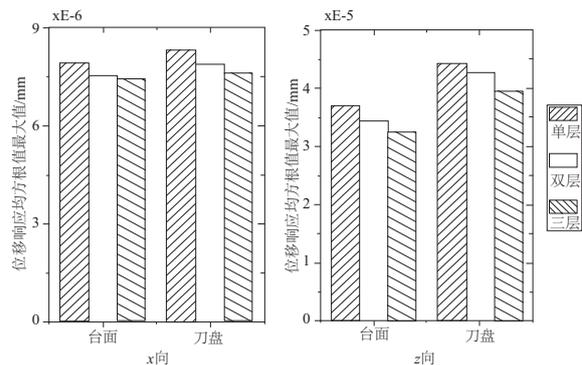


图 2 第 2 组位移响应比较

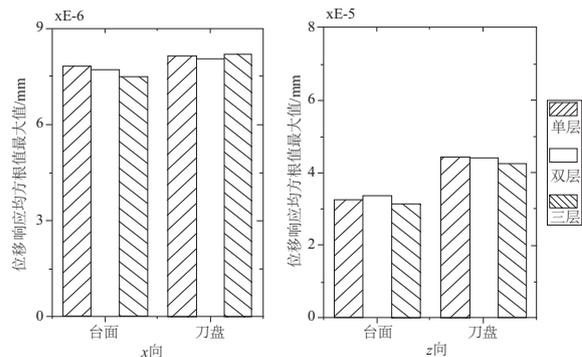


图 3 第 3 组位移响应比较

根据对比结果可知:

1) 同一对照组中,刀盘切点处的位移响应基本上仍比台面中点处的响应大;

2) 表面电压差为50 V时,单层压电陶瓷不能满足精度要求,双层和三层堆叠时均能满足要求;表面电压差为100 V和150 V时,所有堆叠情况下均能满足精度要求;

3) 表面电压差50 V双层堆叠情况下的响应均方根值与表面电压差100 V单层压电陶瓷情况下的响应均方根值基本相等,表面电压差50 V三层堆叠情况下的响应均方根值与表面电压差150 V单层压电陶瓷情况下的响应均方根值基本相等;

4) 单层压电陶瓷能满足精度要求的条件下,堆叠层数对隔振效果的影响很小。

(下转第45页)

对应的榫槽拉刀,完成成套涡轮盘榫槽拉刀的设计。

4 算例验证

采用本文方法,基于 VS2008 和 Teamcenter 平台采用面向对象的模块化编程技术对 UG 进行二次开发,开发出 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计系统。图 10 所示为系统运行生成系列拉刀中的一把拉刀算例,设计人员通过 Teamcenter 打开涡轮盘三维设计模型,然后运行涡轮盘榫槽拉刀设计系统,根据涡轮盘三维设计模型上的参数以及涡轮盘榫槽拉削加工工艺要求,建立榫槽 MBD 拉削工艺模型,并以此驱动涡轮盘榫槽拉刀设计模板并生成相应的拉削刀具。通过实例证明,本文所提出的 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计方法是可行的。

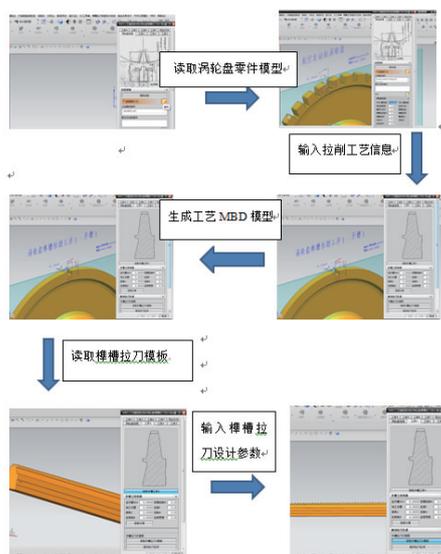


图 10 系统运行算例

5 结语

本文在研究 MBD 技术和模型驱动方法的基础上,提出了一种 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀的三维参数化设计方法,通过建立涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型,并以此驱动涡轮盘榫槽拉刀模板生成相应的涡轮盘榫槽拉刀,实现了航空发动机涡轮盘榫槽拉刀的快速设计。相比于传统的设计方法,本文提出的方法使用集成化的三维数字化实体模型表达了完整的涡轮盘榫槽拉削工艺定义信息,不再需要生成和维护二维工程图样,实现了涡轮盘模型设计与榫槽三维加工工艺的集成,缩短了榫槽拉刀的设计周期,提高了设计效率。

参考文献:

- [1] 航空工艺装备设计手册编写组. 航空工艺装备设计手册 [M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [2] 高翔,周末水,赵西松,等. 航空发动机榫槽拉刀快速设计系统研究与开发.[J]. 机械制造与自动化,2017,46(4):36-39.
- [3] 田富君,田锡天,耿俊浩,等. 基于模型定义的工艺信息建模及应用[J]. 计算机集成制造系统,2012(5):19-25.
- [4] 刘睿,段桂江. MBD 技术发展及在航空制造领域的应用[J]. 航空制造技术,2016,59(5):93-98.
- [5] 张莎莎,张定华,陈冰,等. 工艺主模型驱动的同构零件工装快速设计方法[J]. 机械科学与技术,2009,28(2):246-249.
- [6] Li Guidong, Zhou Laishui, An Luling, et al. A system for supporting rapid assembly modeling of mechanical products via components with typical assembly features [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010,46: 785-800.
- [7] 潘青. 面向飞机数字化装配的 MBD 模型装配信息提取技术 [J]. 航空制造技术,2015(3):34-37.

收稿日期:2017-12-25