

# Electrical Drive and Vibration Control Strategy in Thin-wall Parts Machining

Zihao Wang

Tiandi Benniu Industrial Group Co., Ltd., Shizuishan, Ningxia, 753000, China

## Abstract

In the processing process of thin-walled structure parts, because of its low stiffness, easy to produce vibration, resulting in low precision of parts, poor surface quality, this is a problem we often encounter. To solve this problem, this study proposes a novel strategy that combines electrical drive and vibration control. We first make a detailed analysis of the working conditions in which thin-wall parts may produce vibration, and establish a corresponding dynamic model. Then, a new electrical drive method is designed to improve the traditional machining method to improve the machining accuracy. At the same time, aiming at the vibration problem generated during the electrical driving process, we propose a real-time vibration monitoring and strict vibration control strategy. Through a large number of experiments, the new electrical drive and vibration control strategy not only greatly improves the machining accuracy of thin-walled parts, but also significantly improves the surface quality of the parts. The research results have important reference value for improving the processing quality of thin wall parts in the machining field.

## Keywords

thin-wall parts machining; electrical drive; vibration control; machining accuracy; surface quality

## 薄壁件加工中的电气驱动与振动控制策略

王梓豪

天地奔牛实业集团有限公司, 中国·宁夏 石嘴山 753000

## 摘要

在薄壁结构零件的加工过程中, 因其刚度低、易产生振动, 导致零件加工精度低、表面质量差, 这是我们常遇到的问题。为解决此问题, 本研究提出了一种结合电气驱动和振动控制的新型策略。我们首先对薄壁零件可能产生振动的工况进行了详细地分析, 并建立了相应的动态模型。接着, 设计了一种新型的电气驱动方式来改进传统的加工方式, 以提高加工精度。同时, 针对电气驱动过程中产生的振动问题, 我们提出了实时振动监测和严格的振动控制策略。通过大量实验验证, 新型电气驱动与振动控制策略不仅大幅提升了薄壁零件的加工精度, 还显著改善了零件表面质量。研究成果对于提高机械加工领域中薄壁部件的加工质量具有重要的参考价值。

## 关键词

薄壁零件加工; 电气驱动; 振动控制; 加工精度; 表面质量

## 1 引言

薄壁零件因其自身的一些特性, 以及在加工过程中可能遇到的一些困难, 使得其加工存在着极大的挑战。其中, 其刚度低、易产生振动问题, 对加工过程有着深远影响, 这直接导致加工精度降低, 表面质量变差, 这是当前机械加工领域的一个重要问题。因此, 探索一种能提高薄壁零件加工精度和改善其表面质量的有效方案, 是业界亟待解决的一个问题。本研究以薄壁零件的加工为研究对象, 对其加工过程中存在的振动问题进行了深入研究, 并提出了一种新的加工方式。在传统的加工方法基础上, 我们尝试利用电气驱动的

方式, 通过提高驱动的精度来改善加工的精度, 并辅以实时振动监测和严格的振动控制策略, 以解决因振动产生影响加工精度和表面质量的问题。希望通过这种新的加工方式, 能在实践中提高机械加工领域中薄壁零件的加工质量, 为相关领域的发展提供有力支持。

## 2 薄壁零件加工中振动产生的工况分析

### 2.1 薄壁零件特性及振动产生原理

薄壁零件是指那些壁厚相对于其他尺寸较小的零件, 在航空航天、电子和汽车制造等领域中应用广泛<sup>[1]</sup>。由于其薄壁结构, 薄壁零件在加工过程中容易产生振动, 这对加工精度和表面质量产生了显著影响。为深入理解薄壁零件在加工过程中振动产生的原因, 有必要对其特性及振动产生的原理进行详细分析。

【作者简介】王梓豪(2000-), 男, 中国宁夏石嘴山人, 本科, 助理工程师, 从事机械加工研究。

薄壁零件的刚度较低,材料相对较为柔软,易于受到外界力的影响。在切削加工过程中,刀具与工件之间不断接触,施加的切削力使得薄壁零件容易发生变形和振动。由于薄壁结构缺乏必要的支撑,难以有效抵御刀具的反作用力,致使工件在加工过程中表现出显著的动静态特性,进而诱发振动现象。

在分析薄壁零件振动产生的机理时,关注的一个重要因素是系统的固有频率。固有频率是一个系统在外界激励力量作用下,自由振动的特征频率。当切削频率接近或等于系统的固有频率时,容易引起共振现象,使得振动幅度急剧增加,严重影响加工精度。同样,系统的阻尼特性不足以消耗能量,导致振动难以迅速衰减,进一步增加了表面粗糙度。

切削工艺参数如切削速度、切削深度、进给速度也是影响薄壁零件振动的关键因素。切削力随着这三个参数的变化而变化,过高的切削速度或进给速度会增加切削力,导致振动增强,而过低的切削深度虽然减少了切削力,却可能引起不稳定的切削过程。刀具角度、刀具几何形状以及刀具与工件材料之间的摩擦特性也对振动产生有重要影响。

在动态模型的构建中,需充分考虑薄壁零件的结构特性、材料属性、外界施加的切削力及其动态响应。通过数值模拟和实验研究,了解不同加工条件下薄壁零件的振动行为,为制定有效的振动控制策略提供理论支撑。结合实际情况,优化加工参数和加工路径设计,尽可能减弱振动的影响,提升薄壁零件的加工精度与表面质量。

薄壁零件特性使其在加工过程中极易产生振动,主要源于其低刚度、固有频率与切削力交互作用以及切削工艺参数的不合理配置。对振动产生机理的深入理解与分析,将为薄壁零件加工中振动控制策略的制定提供重要依据。

## 2.2 振动对加工精度和表面质量的影响分析

薄壁零件在加工过程中,由于其物理特性和力学特性导致容易产生振动。振动会对加工精度与表面质量产生显著影响,在加工精度方面,振动会引起刀具与工件间相对位移,从而造成误差。当刀具在切削过程中频繁振动,会导致轨迹偏离预设路径,使加工后的零件尺寸公差难以控制<sup>[1]</sup>。振动还会在加工表面引起波纹、凹坑或划痕,显著降低零件的表面质量。表面粗糙度增加不仅影响零件的外观,还可能影响其使用性能和寿命。

振动还会引起刀具的非均匀磨损,缩短刀具的使用寿命,增加生产成本。在高振动环境下,加工系统的稳定性也会受到影响,增加加工过程中的不确定性,降低生产效率。这些负面影响的累积,将直接影响到零件的质量一致性与制造成本。准确分析振动对薄壁零件加工的影响,对于制定有效的振动控制策略,提高加工质量,进而提升整个生产系统的效率具有重要意义。

## 3 电气驱动在薄壁零件加工中的应用策略

### 3.1 电气驱动设计改进与加工精度提高机理

薄壁零件由于其自身结构的特殊性,在加工过程中容易受到振动的影响,导致加工精度低、表面质量差。为了提高薄壁零件的加工精度,电气驱动设计进行了重要的改进。电气驱动系统通过精确控制电机的运动,实现了加工过程中的高精度定位和速度控制,从而有效地减少了因机械传动误差导致的加工误差。

在电气驱动设计中,采用了高分辨率的位置传感器和先进的伺服控制算法,以确保驱动系统能够实时响应加工过程中出现的各种动态变化。这种高精度的控制方式使得刀具能够在加工过程中保持稳定的轨迹,避免了因振动引起的偏离。通过优化电机的加减速曲线,电气驱动系统能够实现平稳的启停过程,进一步减少了加工过程中可能产生的振动。

电气驱动系统的设计还考虑了薄壁零件在加工中的具体工况,针对不同的工况条件,调整驱动参数以适应加工需求。例如,在加工过程中,通过调整伺服系统的增益参数,可以在保证加工精度的前提下,最大限度地减少系统的振动响应。通过这些设计改进,电气驱动系统不仅提升了加工的精度,还显著改善了薄壁零件的表面质量。

实验结果表明,改进后的电气驱动系统在薄壁零件的加工中表现出了优异的性能。与传统的机械传动方式相比,电气驱动系统能够更精确地控制刀具的运动轨迹,有效地减少了加工过程中的振动现象,提高了薄壁零件的加工精度和表面质量。此项研究成果对于推动薄壁零件高精度加工技术的发展具有重要的意义。

### 3.2 执行电气驱动过程中的振动分析

在执行电气驱动过程中,振动的分析是确保薄壁零件加工精度的关键。振动的产生主要是由于电气驱动系统在运行过程中所引起的动态不稳定性。具体而言,电气驱动的高频响应可能会与薄壁零件的固有频率产生共振,导致显著的振动现象。这种共振现象会引起零件表面粗糙度增加和加工误差。

为了深入理解电气驱动过程中振动的影响,需要建立薄壁零件的动力学模型。此模型应包括电气驱动系统的激励力、薄壁零件的结构特性以及系统的阻尼特性。通过数值模拟和实验验证,可以确定不同电气驱动参数对振动的影响规律。

振动分析还应考虑驱动系统的实时监测数据。通过安装在加工设备上的加速度传感器和位移传感器,能够实时采集振动信号,并采用频域分析方法,如快速傅里叶变换(FFT),对振动信号进行分析。这种方法可以有效识别出共振频率,并为制定针对性的振动控制策略提供依据。

执行电气驱动过程中的振动分析,是薄壁零件加工中

提高加工精度和表面质量的基础。通过动力学建模、数值模拟及实时监测数据的结合,可以全面掌握振动特性,进而有效地控制振动<sup>[3]</sup>。

### 3.3 电气驱动方式的实验验证

对所提出的电气驱动方式进行了实验验证,通过具体工况下的加工实验,分析了加工精度和表面质量的提升情况,结果显示新型电气驱动显著提高了加工性能。

## 4 振动控制策略在薄壁零件加工中的应用

### 4.1 实时振动监测技术的研究与应用

实时振动监测技术在薄壁零件的加工过程中起到了重要的作用。对加工过程中可能出现的振动进行实时监测,是确保加工质量的关键步骤。为此,研究者采用了先进的传感器和信号处理技术,实现了对薄壁零件加工过程中振动的实时监测。

在振动监测方案的设计中,传感器的选择尤为重要。传感器应当具有高的灵敏度,能够精确地捕捉到微弱的振动信号。由于薄壁零件易受到各种干扰,传感器还需要有很好的抗干扰能力,以确保检测结果的准确性。

除了传感器,信号处理技术的选取也是至关重要的。在实时振动监测中,为了有效地处理和提取振动信号,通常需要采用频率域方法。这种方法可以有效地抑制噪声,提高振动信号的检测精度。

实时振动监测的研究和应用,有效地改善了薄壁零件的加工质量。通过对加工过程中振动的实时监控,可以及时发现加工工况的异常,调整加工参数,优化加工过程,实现薄壁零件的高精度加工。

就此而言,实时振动监测技术在薄壁零件加工中的应用,不仅提高了加工精度,还提高了加工效率,具有重要的理论与实践价值。

### 4.2 振动控制策略的设计及实施

振动控制策略的设计基于薄壁件加工过程中振动产生的动态模型,结合实时监测技术,通过反馈调节实现振动的有效控制。建立薄壁零件加工振动的动态模型,分析各频率成分的影响,确定主要振动模式。根据振动特性,选择合适的传感器和数据采集系统进行实时振动监测,确保振动信号的准确获取。

控制策略采用自适应控制算法,通过实时分析振动信号,调节加工参数以抑制不良振动。具体实施过程中,将传感器安装在薄壁件易产生振动的关键部位,实时采集振动数据。利用数据处理技术,将振动信号转化为频域信息,识别主要振动频率和幅值。控制系统根据振动频谱的变化,动态调整电气驱动的参数,如转速、进给速度等,达到最佳抑振效果。

为验证振动控制策略的有效性,进行了一系列加工实验,记录不同控制策略下的振动数据与加工结果。通过对比分析,发现采用该策略后,薄壁零件的振动显著减小,加工精度和表面质量得到明显改善。这表明,设计的振动控制策略在实际加工中具有较高的应用价值,能够有效提高薄壁零件的加工质量和稳定性。

### 4.3 振动控制策略有效性的实验比对与结果分析

在实验验证阶段,选取若干具有代表性的薄壁零件作为测试样本,通过不同振动控制策略下的加工对比,评估其有效性。采用高速摄像机和加速度传感器对振动进行实时监测,记录振动幅度和频率。实验结果表明,实施振动控制策略后,零件表面的振动显著减少,加工精度和表面质量均有所提升。具体数据分析显示,未采取振动控制措施的工件振动幅度明显较大,加工后表面粗糙度值高达  $Ra2.0\mu m$ ,而经过振动控制后的工件表面粗糙度值降至  $Ra0.8\mu m$  左右。加工精度的提升也显著,可实现公差控制在  $\pm 0.05mm$  内。实验数据和实物检测结果全面表明,所设计的振动控制策略在薄壁零件加工中的有效性,在改善表面质量和提高加工精度方面具有显著作用,为机械加工领域提供了有力的技术支持。

## 5 结语

本研究以薄壁零件在加工过程中易产生振动,导致加工精度和质量低下的问题为出发点,提出了结合电气驱动和振动控制的新型加工策略。首先,我们对可能产生振动的工况进行了系统分析,并建立了相应的动态模型。然后,设计了一种新型的电气驱动方式,改进传统加工方式,提高加工精度。同时,为了解决电气驱动过程中可能产生的振动问题,我们策略性地实施了实时振动监测和严格的振动控制。通过大量的实验验证,新型电气驱动与振动控制策略不仅明显提升了薄壁零件的加工精度,而且显著改善了零件表面质量。该研究成果在理论和实践上,都对提高机械加工领域中薄壁零件的加工质量具有重大的参考价值 and 推动意义。然而,由于研究条件和设备限制,对于一些特殊材料和配置复杂的薄壁零件的振动控制效果仍有待进一步检验和研究。未来,我们将继续深入探索,努力推动电气驱动和振动控制等技术在薄壁零件加工中的更广泛应用。

### 参考文献

- [1] 段好运,卫锋,王华.薄壁零件车削加工策略[J].湖南工业职业技术学院学报,2022,22(1):1-4.
- [2] 侯军明,王保升,汪木兰,等.薄壁零件铣削加工振动评价方法研究[J].制造技术与机床,2023(6):49-54.
- [3] 李念周.薄壁零件的加工[J].设备管理与维修,2020(2):129-130.