

精密零件在数控多轴机床上的加工变形控制研究

孙树尧

沈阳富创精密设备股份有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 精密零件的加工精度对于现代制造业至关重要,而数控多轴机床是实现高精度加工的关键设备。然而,在加工过程中,零件往往因各种因素产生变形,进而影响其最终精度和质量。本文旨在深入探讨精密零件在数控多轴机床上的加工变形问题,分析其主要原因,并提出一系列有效的控制措施。通过本文的研究,期望能为提高精密零件的加工精度和稳定性提供有益的参考和指导。

关键词: 精密零件; 数控多轴机床; 变形控制

引言

随着科技的飞速发展和工业的不断进步,精密零件在航空航天、汽车制造、电子设备等领域的应用越来越广泛。这些零件的加工精度要求极高,往往达到微米甚至纳米级别。数控多轴机床以其高精度、高效率的特点成为加工这类零件的首选设备。然而,在实际加工过程中,由于切削力、热效应、装夹系统等多种因素的影响,零件易产生变形,导致加工精度下降和表面质量恶化。因此,研究精密零件在数控多轴机床上的加工变形控制问题具有重要意义。

1 数控多轴机床加工变形的原因分析

1.1 切削力引起的变形

在数控多轴机床的精密加工过程中,切削力是一个不可忽视的影响因素,它往往成为导致零件变形的“罪魁祸首”。当刀具与工件发生相对运动时,切削力的大小和方向会随之不断变化。这种动态变化的切削力作用在零件上,会使其产生两种主要的变形:弹性变形和塑性变形。弹性变形是指零件在受到切削力作用后,形状发生暂时性的改变,但当切削力消失后,零件能够恢复到原来的形状。这种变形虽然不会造成零件的永久性损伤,但在加工过程中却会影响零件的精度和质量。因为弹性变形会导致刀具与工件之间的相对位置发生变化,从而影响加工轨迹和切削深度,最终降低加工精度。与弹性变形不同,塑性变形是指零件在受到切削力作用后,形状发生永久性的改变。这种变形是由于切削力超过了材料的屈服极限,导致材料内部晶粒发生滑移和错位,从而产生不可恢复的形状变化^[1]。塑性变形对零件的加工精度和质量影响更为严重,因为它不仅会导致零件尺寸和形状的偏差,还可能引起零件的应力集中和疲劳破坏等问题。在数控多轴机床加工中,切削力的大小和方向受到多种因素的影响,如刀具的几何形状、切削参

数的选择、材料的力学性能等。

1.2 热效应引起的变形

在数控多轴机床的加工过程中,热效应是一个不容忽视的因素,它经常悄无声息地导致零件产生变形。当刀具与工件相互作用时,切削热和摩擦热会不断产生,使得工件的温度逐渐升高。这种温度变化对于零件的加工精度和稳定性有着显著的影响。随着工件温度的升高,材料会发生热膨胀,导致零件的尺寸和形状发生变化。这种热膨胀变形是加工过程中常见的现象,它会导致零件的精度降低,甚至使零件完全报废。不同材料的热膨胀系数各不相同,因此相同温度变化下,不同材料的零件产生的热变形也会有所不同。其次,温度变化还会在零件内部产生热应力。当零件的不同部位或不同材料之间由于温度变化而产生不同的热膨胀时,就会在零件内部形成热应力。这种热应力会导致零件产生裂纹、翘曲等缺陷,严重影响零件的使用性能和寿命。此外,切削液的使用不当也可能导致零件产生热变形。切削液在加工过程中起着冷却、润滑和排屑的作用,但如果切削液的种类、浓度或流量选择不当,就可能导致切削热无法及时散出,从而使工件温度升高,产生热变形。例如,使用粘度过高的切削液会导致切削热难以传导出去,而使用流量过小的切削液则无法充分冷却工件。

1.3 装夹系统引起的变形

在数控多轴机床加工中,装夹系统不仅起到固定和定位工件的作用,更直接关联到零件的加工精度和质量。装夹系统引起的变形是一个不可忽视的问题,这种变形主要来源于装夹力的大小和分布不均,以及装夹系统本身的刚性和稳定性不足。一方面,装夹力的大小和分布不均会导致零件产生夹紧变形。当装夹力过大或集中在某一区域时,工件可能会在装夹点附近产生局部变形。这种变形在加工过程中会逐渐累积,最终影响到零

件的整体精度和形状。特别是对于薄壁件或柔性材料，夹紧变形的影响更为显著。另一方面，装夹系统的刚性和稳定性对零件的加工精度也有着至关重要的影响^[2]。装夹系统的刚性不足会使其在加工过程中发生振动或变形，从而将误差传递给工件，导致零件产生额外的变形。而装夹系统的稳定性差则可能导致工件在加工过程中出现位移或转动，这同样会引起零件的变形和精度降低。装夹系统引起的变形是一个复杂的物理过程，涉及到力学、材料学、热力学等多个领域的知识。

2 数控多轴机床加工变形控制措施

2.1 优化切削参数和刀具路径

在数控多轴机床的加工过程中，优化切削参数和刀具路径是实现高精度、高效率加工的关键。通过精心选择和调整切削速度、进给量以及切削深度等参数，可以有效减小切削过程中产生的切削力和切削热，从而显著降低零件的加工变形。合理选择切削速度对于控制切削力和切削热至关重要。过高的切削速度虽然能提高加工效率，但也会使切削力和切削热大幅增加，容易导致零件变形。相反，过低的切削速度虽然能减小切削力和切削热，但会降低加工效率。因此，选择适宜的切削速度是平衡加工精度和加工效率的关键。同样地，进给量和切削深度的选择也直接影响加工过程中的切削力和切削热。过大的进给量和切削深度会导致切削力剧增，而过小的进给量和切削深度则会使加工效率低下。因此，选择合适的进给量和切削深度，能在保证加工精度的同时提高加工效率。除了合理选择切削参数外，优化刀具路径也是减小零件加工变形的有效手段。通过规划刀具的运动轨迹，使其在满足加工要求的同时尽可能减小切削力和切削热的产生。此外，先进的切削技术，如高速切削技术，能有效减小切削力和切削热，从而提高加工效率并减小零件变形。同时，选用耐磨性强、切削性能优异的刀具材料，如硬质合金刀具或涂层刀具，也能显著提高加工精度和表面质量。优化切削参数和刀具路径是实现数控多轴机床高精度、高效率加工的重要方法。通过合理选择和调整切削参数、规划刀具路径以及选用先进的切削技术和刀具材料，我们能有效控制零件的加工变形并提高加工精度和效率。

2.2 采用热稳定性好的材料和结构

在数控多轴机床的加工过程中，材料和结构的选择对于控制零件的加工变形至关重要。采用热稳定性好的材料和结构，可以有效减小温度变化对零件加工精度的影响，从而提高零件的加工质量和稳定性。首先，选择热膨胀系数小的材料是减小热变形的关键。不同材料在

温度变化时，其热膨胀程度各不相同。采用热膨胀系数小的材料，如钛合金、陶瓷等，可以在温度变化时保持较好的尺寸稳定性，从而降低热变形对零件加工精度的影响。这些材料不仅具有优异的热稳定性，还往往具备良好的机械性能和耐腐蚀性，能够满足复杂和严苛的加工要求。其次，材料的导热性能也是影响热变形的重要因素。导热性能好的材料能够迅速将加工过程中产生的热量传导出去，避免热量在零件内部积聚导致热变形。因此，在选择材料时，除了考虑其热膨胀系数外，还需要关注其导热性能。此外，合理的结构设计也是减小零件加工变形的重要手段。通过采用对称结构、加强筋等设计措施，可以提高零件的刚性和稳定性，使其在加工过程中能够更好地抵抗切削力和热应力的作用，从而减小变形。这些结构设计不仅能够提高零件的加工精度，还能够增强其在使用过程中的可靠性和耐久性^[3]。采用热稳定性好的材料和结构是减小数控多轴机床加工过程中零件变形的重要方法。通过选择热膨胀系数小、导热性能好的材料以及合理的结构设计，我们可以有效控制温度变化对零件加工精度的影响，提高零件的加工质量和稳定性。

2.3 改进装夹系统和加工工艺

在数控多轴机床的加工过程中，装夹系统和加工工艺的改进对于减小零件变形至关重要。通过优化装夹系统的设计和使用，以及结合先进的加工工艺，可以显著提高零件的加工精度和质量。优化装夹系统的设计和使用是减小装夹力对零件变形影响的关键。采用均匀分布的装夹力可以确保零件在加工过程中受力均匀，避免局部受力过大导致的变形。同时，增加装夹系统的刚性和稳定性也是至关重要的。通过选用高强度、高刚性的装夹元件，以及合理的装夹布局 and 连接方式，可以显著提高装夹系统的稳定性，从而减小零件在加工过程中的振动和位移，降低变形风险。结合先进的加工工艺也是减小零件变形的有效手段。采用多次装夹、分段加工等方法，可以将复杂的加工任务分解为多个简单的步骤，逐步完成零件的加工。这种方法不仅可以减小单次加工中的切削力和热应力，还可以及时发现并纠正加工过程中的误差，从而提高零件的加工精度和质量。此外，对于易变形的零件，还可以采用预变形加工技术。这种技术是在加工前对零件进行预变形处理，使其在加工过程中产生相反的变形，从而抵消原始变形。通过精确控制预变形的程度和方向，可以实现对零件变形的精确控制，显著提高加工精度和质量^[4]。改进装夹系统和加工工艺是减小数控多轴机床加工过程中零件变形的重要方法。通

过优化装夹系统的设计和使用、结合先进的加工工艺以及采用预变形加工技术,我们可以有效控制零件在加工过程中的变形风险,提高加工精度和质量,为实现高精度、高效率的数控加工提供有力保障。

2.4 采用先进的加工技术和设备

随着科技的飞速发展,精密零件的加工领域迎来了前所未有的变革。传统的加工方法已逐渐无法满足高精度、高效率的加工需求,而先进的加工技术和设备的出现,为精密零件的加工变形控制提供了新的解决方案。超声波振动切削技术便是其中的佼佼者。这种技术通过给刀具施加高频振动,使得切削过程中的切削力和切削热得到有效减小。同时,振动还能帮助切屑更顺畅地排出,从而显著提高加工精度和表面质量。这一技术的应用,不仅使得精密零件的加工更加高效,还大大降低了零件变形的风险。五轴联动数控机床则是另一项引人注目的先进技术。与传统的三轴数控机床相比,五轴联动数控机床增加了两个旋转轴,使得刀具能够在更复杂的空间轨迹上进行加工。这不仅大大提高了加工精度,还能够实现更复杂零件的加工。通过五轴联动数控机床,我们可以轻松应对各种复杂曲面、异形孔等难加工特征,为精密零件的加工提供了强有力的支持。除了上述两种技术外,还有许多其他先进的加工技术和设备正在不断涌现。例如,激光加工技术、电火花加工技术、水刀切割技术等,都在各自的领域发挥着重要作用。这些技术和设备的应用,不仅提高了精密零件的加工效率和质量,还为解决加工变形等难题提供了新的思路和方法。

3 未来研究展望

随着制造业的持续发展,精密零件的加工变形控制已成为研究的热点。为了进一步提高零件的加工精度和稳定性,未来的研究可以从多个方面深入展开。第一,深入研究切削力、热效应等影响因素的作用机理至关重要。切削力和热效应是导致零件加工变形的主要因素之一。通过深入研究这些因素的作用机理,我们可以更准确地预测和控制零件的加工变形,从而为优化加工工艺提供理论支持。第二,开发新型材料和结构也是提高零件加工精度和稳定性的重要途径。随着材料科学的不断

进步,新型的高性能材料不断涌现。这些材料具有优异的机械性能、热稳定性和耐腐蚀性,能够有效抵抗加工过程中的切削力和热应力,从而减小零件的加工变形。同时,合理的结构设计也能够提高零件的刚性和稳定性,降低变形风险。第三,探索更加智能和高效的加工技术和工艺也是未来研究的重要方向^[5]。随着人工智能、大数据等技术的不断发展,将这些技术应用于精密零件的加工变形控制中已成为可能。通过利用人工智能算法对加工数据进行深度学习和分析,我们可以实现加工过程的智能优化和控制,从而进一步提高零件的加工精度和效率。未来对精密零件加工变形控制的研究将围绕切削力、热效应的作用机理、新型材料和结构的开发以及智能高效加工技术的探索等多个方面展开。这些研究将为精密零件的加工提供新的理论支持和技术手段,推动制造业的持续发展和进步。

结语

本文深入探讨了精密零件在数控多轴机床上的加工变形控制问题,分析了变形产生的原因并提出了相应的控制措施。展望未来,随着制造业的不断发展和技术进步的不断深入,精密零件的加工精度要求将越来越高。因此,进一步研究和发展数控多轴机床加工变形控制技术显得尤为重要。未来研究可以从以下几个方面展开:深入研究切削力、热效应等影响因素的作用机理;开发新型材料和结构以提高零件的加工精度和稳定性;探索更加智能和高效的加工技术和工艺等。

参考文献

- [1]刘丽明,李孝元.超精密数控加工技术研究进展[J].科技创新与应用,2021,11(28):3.
- [2]赵大荣.精密零件的数控加工工艺及加工策略[J].中国科技投资,2022(32):129-131.
- [3]徐书娟,赵培哲.数控铣加工模具零件工艺的优化措施[J].自动化应用,2023,64(9):124-127.
- [4]缪海滔.不锈钢零件精密深孔数控车加工的方法探析[J].九江学院学报(自然科学版),2020,35(3):28-30,48.
- [5]徐金亭,牛金波,陈满森,等.精密复杂曲面零件多轴数控加工技术研究进展[J].航空学报,2021,42(10):24.