

数控铣床中的刀具选择及刀具路径规划

任 伟 马雅丽 汤业超

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘 要：数控铣床加工过程中，刀具的选择与刀具路径的规划是确保加工效率与工件质量的关键。本文深入探讨了数控铣床刀具的分类、特点及选择原则，包括从结构、切削工艺和材料等不同角度的考量。同时，分析了刀具路径规划的基本概念、影响因素及规划原则，并提出了路径优化的具体方法。旨在为数控铣削加工提供理论支持，以实现高效、精确的加工过程，并提升整体生产效率。

关键词：数控铣床；刀具选择；刀具路径规划

引言：数控铣床作为现代制造业的核心设备，其加工效率与精度直接关系到产品质量与生产成本。刀具的选择与刀具路径的规划是数控铣削过程中的两个关键环节。合理的刀具选择能够提升切削效率，保证加工质量；科学的刀具路径规划则能减少空行程，提高材料利用率。本文旨在探讨数控铣床中的刀具选择原则及刀具路径规划方法，以期为数控加工提供理论支持与实践指导。

1 数控铣床刀具的选择

1.1 数控刀具的种类

(1) 从结构上分类。数控铣床刀具在结构上可分为整体式刀具、机夹式刀具、焊接式刀具和可转位刀片式刀具等。整体式刀具结构简单，适用于小型工件和精细加工；机夹式刀具由刀体和刀片两部分组成，刀片可快速更换，灵活度高，广泛用于大中型工件加工；焊接式刀具则通过高温焊接将刀片与刀体固定，适用于高强度、大切削量的场合；可转位刀片式刀具的刀片可在多个位置使用，直至全部磨损，极大地提高了刀具的经济性。(2) 从切削工艺上分类。根据切削工艺的不同，数控铣床刀具可分为平面铣刀、立铣刀、球头铣刀、T形铣刀等。平面铣刀用于大面积平面的铣削，效率高；立铣刀适用于轮廓加工和深槽加工；球头铣刀主要用于曲面加工，能够保证加工的平滑性；T形铣刀则适用于T形槽的加工。(3) 从刀具材料上分类。从材料上分类，数控铣床刀具可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具和立方氮化硼(CBN)刀具等。高速钢刀具具有良好的韧性和耐热性，但硬度相对较低；硬质合金刀具硬度高，耐磨性好，是铣削加工中最常用的刀具；陶瓷刀具适用于高速切削和高硬度材料的加工；CBN刀具则适用于加工淬硬钢等超硬材料。

1.2 数控刀具的特点

(1) 标准化、系列化、规格化：数控机床的刀具通

常采用国际标准，以便于更换和维护，减少准备时间。

(2) 强度、刚度及抗振性能：为了保证在高速、高效加工下的稳定性，数控刀具必须具有良好的强度和刚度，能够抵抗切削力和振动。(3) 高精度、高可靠性和适应性：数控机床的高精度要求刀具具备相应的高精度，保证加工件的一致性和尺寸稳定性。刀具的设计还必须具有高可靠性，适应多种材料和工艺条件的需要。

1.3 数控刀具的选择原则

(1) 机床的加工能力：根据机床的主轴功率、扭矩、最高转速以及精度等级等参数，选择能够与之匹配的刀具。刀具的尺寸、形状和安装方式应与机床的夹持系统和加工范围相匹配。(2) 工件材料的性能：工件材料的硬度、韧性、导热性等因素直接影响刀具的选择。对于硬度较高的材料，如淬硬钢、铸铁等，应选用硬质合金或立方氮化硼(CBN)刀具；对于韧性较好的材料，如铝合金、不锈钢等，则需考虑刀具的抗冲击能力和耐磨性。(3) 加工工序和切削用量：根据粗加工、半精加工和精加工的不同阶段，选择相应类型的刀具。粗加工阶段注重去除大量余量，可选择耐磨性好、抗冲击能力强的刀具；精加工阶段则要求刀具具有高精度、低粗糙度，确保加工表面的质量。切削用量(包括切削速度、进给量和切削深度)也直接影响刀具的选择，需要根据加工效率和刀具寿命的平衡来确定^[1]。(4) 刀具的耐磨性和使用寿命：选择耐磨性好、抗磨损能力强的刀具可以显著提高加工效率和降低成本。不同材料制成的刀具具有不同的耐磨性能，硬质合金刀具在普通加工中表现出色，而金刚石或CBN刀具则在特定材料或高难度加工中更具优势。此外，合理的刀具使用和维护，如定期刃磨、清洁和涂层处理，也能延长刀具的使用寿命。

2 数控铣削刀具路径的规划

2.1 刀具路径的基本概念

刀具路径是数控铣削加工中的核心组成部分,它定义了刀具在工件上的运动轨迹,直接影响了加工效率、加工质量和成本。刀具路径规划主要包括两部分:点到点的快速定位运动(空行程)和工作进给速度的切削加工运动(切削行程)。(1)点到点的快速定位运动(空行程)。空行程是指刀具在非切削状态下从一个位置移动到另一个位置的过程。在数控铣削中,空行程的速度通常较快,以减少非加工时间,提高整体加工效率。空行程的设计需考虑机床的极限速度和加速度,以及避免与工件、夹具或其他障碍物的碰撞。(2)工作进给速度的切削加工运动(切削行程)。切削行程是刀具在工件上进行实际切削运动的过程。在这一阶段,刀具按照预设的路径和速度进行切削,去除材料以达到设计要求的形状和尺寸。切削行程的速度和进给量需根据工件材料、刀具类型、机床性能和加工质量要求等因素综合考虑。

2.2 刀具路径规划的影响因素

(1)工件的结构特点和加工要求。工件的结构特点,如尺寸、形状、复杂度和材料特性,是影响刀具路径规划的主要因素。加工要求,如精度、表面粗糙度、加工时间和成本,也决定了刀具路径的详细设计和优化方向。(2)加工精度和表面粗糙度。加工精度和表面粗糙度是评价加工质量的重要指标。刀具路径规划需确保切削过程中的稳定性和连续性,以减少振动和切削力变化,从而提高加工精度和降低表面粗糙度。(3)机床类型及刀具刚度。机床的类型(如立式、卧式、龙门式等)和性能参数(如行程、速度、加速度等)对刀具路径规划具有重要影响。同时,刀具的刚度直接影响切削过程中的振动和变形,进而影响加工精度和表面质量。因此,在规划刀具路径时,需充分考虑机床和刀具的匹配性。(4)生产效率及加工成本。提高生产效率和降低加工成本是刀具路径规划的重要目标。通过优化刀具路径,减少空行程时间,提高切削效率,可以降低加工成本。同时,合理的刀具路径规划还能减少刀具磨损和更换次数,延长刀具使用寿命,进一步降低成本^[2]。

2.3 刀具路径规划的原则

(1)保证加工质量和安全性。刀具路径规划应首先确保加工质量和安全性。通过合理的刀具选择、切削参数设置和路径设计,保证切削过程的稳定性和连续性,避免振动、冲击和碰撞等不利因素。(2)最短路径和最少空行程时间。为了提高加工效率,刀具路径规划应遵循最短路径和最少空行程时间的原则。通过优化刀具路径,减少不必要的移动和等待时间,从而提高整体加工效率。这包括避免重复切削、减少刀具的抬刀次数和空

行程距离等。(3)简化编程和提高生产效率。刀具路径规划还应考虑编程的复杂性和生产效率。通过采用标准化的刀具路径模式和自动编程技术,可以简化编程过程,减少人为错误,提高编程效率和准确性。同时,合理的刀具路径规划还能使机床操作更加流畅,减少停机时间和调整时间,进一步提高生产效率。

2.4 典型工件的刀具路径规划

(1)平面铣削:在平面铣削中,刀具路径的规划通常包括粗加工、半精加工和精加工三个阶段。粗加工阶段,刀具以较大的进给量和较快的切削速度去除大部分余量;半精加工阶段,刀具以较小的进给量和较高的转速进一步去除余量,为精加工做准备;精加工阶段,刀具以较慢的切削速度和较小的进给量进行切削,以获得所需的表面粗糙度和精度。在规划平面铣削的刀具路径时,还需考虑工件的尺寸、形状和材料特性等因素。

(2)曲面铣削:曲面铣削的刀具路径规划相对复杂。由于曲面形状的不规则性,需要采用更为精细的刀具路径规划策略。常见的曲面铣削刀具路径包括等高线加工、螺旋加工、行切加工以及五轴联动加工等。在规划曲面铣削的刀具路径时,应充分考虑曲面的几何特征、加工精度和表面粗糙度要求,选择合适的切削参数和刀具路径模式。(3)槽和孔的加工:槽和孔的加工是数控铣削中常见的特征加工。在槽的加工中,刀具路径通常包括开槽、扩槽和精加工等阶段。在规划槽的刀具路径时,可以采用平行切削、交错切削或螺旋切削等策略,以优化切削效果和加工效率。在孔的加工中,刀具路径通常包括钻孔、扩孔、铰孔和攻丝等步骤。在规划孔的刀具路径时,应根据孔的直径、深度和加工要求等因素选择合适的切削参数和刀具路径模式。

3 数控铣削刀具路径的优化

3.1 路径优化方法

(1)行切法和环切法的应用。行切法是刀具沿着平行于工件表面的直线轨迹进行切削。这种方法适用于平面或近似平面的工件,可以高效地去除材料,尤其在粗加工阶段,可以快速缩小工件与预期形状的差距。然而,行切法可能在切削交接处留下较为明显的切削痕迹,需要在精加工阶段进行额外的处理。环切法则适用于曲面或复杂形状的工件。刀具沿着工件的外轮廓或内孔进行环形切削,这种方法可以确保切削表面更加平滑,减少切削痕迹,提高加工质量。但是,环切法可能需要更长的切削路径,对机床和刀具的耐用性提出了更高的要求。(2)顺铣和逆铣的选择。顺铣和逆铣的选择直接影响切削力、切削温度及刀具磨损情况。顺铣时,

切削力与工件进给方向相同,切削过程较为平稳,但可能对刀具产生较大的冲击力,加速刀具磨损。逆铣时,切削力与工件进给方向相反,有助于降低切削温度,减少刀具磨损,但可能导致切削过程不稳定,增加工件表面的粗糙度。因此,选择顺铣还是逆铣,需要根据工件的材质、形状、硬度及切削参数等综合考虑。(3)粗加工和精加工路径规划。粗加工的主要目的是迅速去除工件上的大部分余量,因此,刀具路径应尽可能简洁、高效。可以采用较大的切削深度和较快的切削速度,以缩短加工时间。而在精加工阶段,则要求刀具路径更加精细,以确保加工精度和表面质量。此时,需要采用较小的切削深度和较慢的切削速度,同时,还需对刀具路径进行细致规划,以减少切削过程中的误差和振动^[3]。

3.2 安全规划及碰撞避免

(1)快速定位路线的安全设定。在数控铣削中,刀具的快速定位路线是加工过程中的一个重要环节。为了确保安全,应避免刀具在定位过程中与工件、夹具或机床其他部分发生碰撞。因此,在规划刀具路径时,应充分考虑工件的形状、尺寸及定位方式,设置合理的快速定位路线。(2)刀具与工件的安全间隙。在切削过程中,刀具与工件之间应保持一定的安全间隙,以防止刀具因切削力过大而损坏,或工件因切削热量过高而变形。这个安全间隙的大小应根据工件的材质、形状及切削参数等综合考虑。(3)障碍物碰撞的预防措施。在加工过程中,可能会遇到夹具、工作台或其他障碍物。为了避免刀具与之发生碰撞,应在规划刀具路径时,充分考虑这些障碍物的位置和形状,并采取相应的预防措施,如设置刀具避让路径等。

3.3 刀具路径的案例分

(1)平面铣削路径的优化。在平面铣削中,可以采

用行切法,结合合理的切削参数和刀具路径规划,实现高效的材料去除和均匀的切削负载。同时,为了减小切削痕迹,可以在精加工阶段采用多次走刀的方式,对切削表面进行精细处理。(2)曲面铣削路径的优化。在曲面铣削中,可以采用环切法,结合工件的几何特征,规划出合理的切削路径。同时,为了保持切削过程的稳定性,可以采用较小的切削深度和较慢的切削速度。此外,还可以通过优化刀具路径的形状和长度,减少切削过程中的振动和误差。(3)螺纹加工路径的优化。在螺纹加工中,需要确保螺纹的精度和表面质量。因此,在规划刀具路径时,应充分考虑螺纹的几何参数和切削参数。同时,还需对刀具路径进行细致规划,以确保切削过程的平稳性和连续性。为了减小切削热量对螺纹的影响,可以采用多次走刀的方式,对螺纹进行逐步加工。

结束语

综上所述,数控铣床中的刀具选择与刀具路径规划对加工效率、工件质量和生产成本具有显著影响。通过深入分析与实践探索,我们明确了刀具选择的原则与刀具路径规划的策略。未来,随着数控技术的不断发展,刀具材料与切削工艺将持续创新,刀具路径规划也将更加智能化。期待业界同仁共同努力,推动数控铣削技术迈向更高水平,为制造业的转型升级贡献力量。

参考文献

- [1]李忠群,刘学,刘鸿志,等.型腔高速数控铣削刀具路径规划研究进展[J].制造技术与机床,2021,(05):42-47.
- [2]毛涛.基于NX软件平台的多轴加工编程刀具路径优化方法研究[J].电子技术与软件工程,2022,(09):82-83.
- [3]周峰,张紫旭,刘昊天,等.基于动态规划算法的刀具轨迹优化及实验验证[J].组合机床与自动化加工技术,2019,(12):120-122.