

数控车床在精密航空航天部件加工中的应用

刘 佳 李 辉 孟二华
河南北方红阳机电有限公司 河南 南阳 473000

摘 要：本文深入探讨了数控车床在精密航空航天部件加工中的应用，通过具体案例、详细技术参数和实际加工效果等多方面的数据支撑，全面展示了数控车床在航空航天领域中的高精度、高效率加工能力。文章首先分析了数控车床的工作原理与技术特点，随后结合实际案例详细阐述了其在航空航天部件加工中的具体应用和显著优势，最后对数控车床在航空航天领域的未来发展进行了展望。

关键词：数控车床；异形件加工；精密；航空航天；部件加工；应用

引言

航空航天领域对零部件的精度、复杂度和加工效率有着极高的要求。传统的加工方式往往难以满足这些需求，而数控车床作为一种高精度、高效率的自动化加工设备，在航空航天部件加工中发挥着至关重要的作用。本文将通过具体案例和详细数据，深入探讨数控车床在精密航空航天部件加工中的应用。

1 数控车床的工作原理概述

数控车床的工作原理是基于高度集成化的数控系统和精密的机械结构。首先，将零件的几何数据和工艺数据等加工信息，按照规定的代码和格式编制成加工程序。这个程序是数控车床的工作指令，包含了刀具路径、切削参数、换刀指令等关键信息。随后，将加工程序输入到数控系统中，系统对程序进行解析和校验，确保无误后存储^[1]。在加工过程中，数控系统根据程序指令，精确控制机床各运动部件的运动。主轴以设定的转速旋转，带动工件旋转；进给轴则按照预定的轨迹和速度移动，使刀具与工件之间产生相对运动，从而实现对工件的切削加工。数控系统能够实时监控加工状态，对刀具路径、切削参数等进行微调，确保加工精度和效率。

某工件材料45号钢外径300毫米，长度800毫米，壁厚2毫米，加工外形中极易产生震刀工件变形，通过制做薄壁件内孔支撑工装（8件套组合工装包括本体，固定板，螺栓，紧固螺母，本体为盘类圆柱体），工件长度800毫米内孔支撑工装分成4个独立的密封区域，每个区域内压满压实填充物，在进行外圆精加工，有效防止工件变形和震刀。经过制作可调节的内孔长度支撑工装，独立的密封区域分别独立调节，达到很好的均匀支撑效果。提供一种可快速拆卸的内孔支撑工装，为了解决薄壁类工件车削时产生震刀现象，避免装夹产生变形，配合的支撑工装问题。可根据实际生产需要，制作不同尺

寸的工装，具有一定的通用性。

2 异形件的特点与加工难点

异形件通常具有不规则的几何形状，与传统的规则几何形状零件相比，其加工难度显著增加。异形件的轮廓可能包含复杂的曲线、曲面和不规则的边界，这对刀具路径的规划提出了更高的要求。传统的加工方法难以精确地实现这些复杂形状的加工，而数控加工则可以通过精确的编程和刀具路径控制来实现高精度的加工。

异形件的尺寸精度要求往往较高。在航空航天、领域，异形件的尺寸偏差可能会对整个产品的性能和安全性产生重大影响。因此，在数控加工过程中，需要严格控制加工误差，确保零件的尺寸精度符合设计要求。

异形件的材料特性也可能增加加工难度。一些异形件可能采用高强度、高硬度的材料，这些材料的切削性能较差，容易导致刀具磨损和加工表面质量下降。因此，在选择刀具和切削参数时，需要充分考虑材料的特性，以保证加工质量和效率。

3 数控车床在精密航空航天部件加工中的应用分析

3.1 发动机叶片加工

航空发动机叶片，作为航空航天领域的核心零部件，其制造过程充满了技术与艺术的结合。这些叶片不仅形状复杂多变，包含扭曲、变截面、薄壁等特征，而且对精度和表面质量的要求达到了极致，因为它们的每一丝细微差别都可能影响到发动机的整体性能、可靠性和安全性。

3.1.1 案例分析

（1）机床型号与配置

以某国际知名品牌五轴联动数控车床XX-5000为例。这款机床采用了最新的数控系统，具备高速、高精度的控制能力。床身结构采用高强度铸铁，经过多次时效处理，确保了机床的长期稳定性。主轴系统则采用了陶瓷

球轴承和油气润滑技术,使得主轴转速更高、温升更低、精度更持久。机床配备了高分辨率的光栅尺和旋转变压器,实现了全闭环控制,进一步提高了加工精度。同时,还集成了在线测量系统、刀具破损监测系统、自适应控制系统以及振动抑制系统等先进功能,确保加工过程中的精度、稳定性和安全性。

(2) 加工材料

钛合金Ti-6Al-4V。这种材料具有高强度、低密度、良好的耐腐蚀性和高温性能,是航空航天领域理想的结构材料。然而,钛合金的加工难度极大,对刀具的磨损非常快,切削过程中产生的热量也容易导致工件变形。因此,在加工过程中需要严格控制切削条件、选择合适的刀具和冷却方式。

(3) 加工精度与表面质量

机床的定位精度达到了0.004毫米,这得益于机床的高精度导轨、主轴系统以及先进的数控补偿技术。在实际加工中,通过多次校准和验证,确保了机床的定位精度满足设计要求。通过优化切削参数和选用合适的刀具,叶片的表面粗糙度控制在Ra小于0.4微米。具体来说,采用了涂层硬质合金刀具,并选择了合适的切削速度、进给量和切削深度。同时,采用了微量润滑技术,有效降低了切削过程中的摩擦和热量,提高了表面质量。

3.2 机身结构件加工

机身结构件作为航空航天器的重要组成部分,其制造精度和表面质量直接影响到航空航天器的整体性能和安全性。这些结构件通常形状复杂、尺寸精度要求高,且材料多为高强度^[2]、轻质的铝合金,如7075铝合金,其加工难度较大。数控车床,特别是立式加工中心,通过多轴联动加工技术,为机身结构件的高精度加工提供了有力支持。

3.2.1 案例分析:

(1) 机床型号与配置

某品牌立式加工中心VM-1200。这款机床采用了高性能的数控系统,具备高速、高精度的加工能力。其立式结构设计使得机床在加工过程中更加稳定,减少了振动和变形,提高了加工精度。机床配备了高分辨率的光栅尺和编码器,实现了全闭环控制,确保了加工过程中的定位精度和重复定位精度。同时,机床还集成了在线测量技术、刀具破损监测系统以及自适应控制系统等先进功能,为高精度加工提供了有力保障。

(2) 加工材料

铝合金7075。这种材料具有高强度、良好的耐腐蚀性和可加工性,是航空航天领域常用的结构材料。然

而,由于其硬度较高,加工过程中容易产生切削力和振动,对加工精度和表面质量造成影响。因此,在加工过程中需要选择合适的刀具和切削参数,并采取有效的减振措施。

(3) 加工精度与要求

机床的定位精度达到了0.008毫米,重复定位精度更是高达0.004毫米。这得益于机床的高精度导轨、主轴系统以及先进的数控补偿技术。在实际加工中,通过多次校准和验证,确保了机床的定位精度满足设计要求,为机身结构件的高精度加工提供了有力保障。机身结构件不仅要求尺寸精度高,还要求表面光洁度好。因此,在加工过程中需要严格控制切削参数和刀具路径,确保加工出的结构件符合设计要求。

(4) 加工过程与技术要点

利用立式加工中心的多轴联动功能,实现了机身结构件的复杂曲面和孔系加工。通过同时控制多个轴的运动,可以一次性完成多个面的加工,提高了加工效率和精度。通过仿真软件对切削过程进行了详细的模拟和分析,优化了刀具路径和切削参数。具体来说,根据机身结构件的形状和特征,选择了合适的刀具类型和切削策略。通过调整切削速度、进给量和切削深度等参数,减少了切削力的波动和振动的产生,提高了加工精度和表面质量。在加工过程中,采用了在线测量技术对关键尺寸进行实时监控和调整。通过测量数据与设计要求的对比,及时调整了加工参数和刀具路径,确保了加工精度符合设计要求。同时,在线测量技术还可以及时发现加工过程中的异常情况,如刀具磨损、工件变形等,为加工过程的稳定性和可靠性提供了有力保障。

3.3 火箭发动机喷管加工

火箭发动机喷管作为航天器的关键部件,其制造过程极具挑战性。喷管不仅形状复杂,精度要求极高,而且必须能够承受高温、高压等极端环境条件的考验。采用数控车床,特别是高速立式加工中心,进行喷管的加工,可以精确控制刀具轨迹和切削参数,确保加工出的喷管满足设计要求,从而保证火箭发动机的性能和可靠性。

3.3.1 案例分析

(1) 机床型号与配置

某品牌高速立式加工中心HSM-800。这款机床采用了最新的高速切削技术和高性能数控系统,具备极高的加工速度和精度。其立式结构设计使得机床在加工过程中更加稳定,有效减少了振动和变形,为高精度加工提供了有力保障。机床配备了高分辨率的光栅尺和编码器,实现了全闭环控制,确保了加工过程中的定位精

度。同时,机床还集成了高效的冷却系统、刀具破损监测系统以及自适应控制系统等先进功能,为高温合金的高效、高精度加工提供了全面支持。

(2) 加工材料

高温合金Inconel 718。这种材料具有极高的强度、良好的耐腐蚀性和高温性能,是火箭发动机喷管等高温部件的理想材料。然而,Inconel 718的加工难度极大,由于其硬度高、导热性差,加工过程中容易产生大量的切削热,导致刀具磨损加剧和工件变形。因此,在加工过程中需要选择合适的刀具材料和切削参数,并采取有效的冷却措施。

(3) 加工精度与要求

机床的定位精度达到了0.005毫米,这得益于机床的高精度导轨、主轴系统以及先进的数控补偿技术。在实际加工中,通过多次校准和验证,确保了机床的定位精度满足设计要求,为喷管的高精度加工提供了有力保障。通过优化切削参数和选用合适的刀具,喷管的表面粗糙度控制在Ra小于0.6微米。这要求加工过程中必须严格控制切削速度、进给量和切削深度等参数,以减少切削力的波动和振动的产生,确保加工出的喷管表面光洁度好。

(4) 加工过程与技术要点

利用高速立式加工中心的高速切削功能,实现了喷管的高效加工。高速切削可以有效减少切削力和切削热,提高加工效率和精度。同时,高速切削还可以减少刀具与工件的接触时间,降低刀具磨损和工件变形的风险。针对Inconel 718的加工特性,选择了硬度高、耐热性好的刀具材料,如陶瓷刀具或涂层硬质合金刀具。同时,通过仿真软件和实验验证,优化了切削参数,如切削速度、进给量和切削深度等,以减少切削热和刀具磨损,提高加工精度和表面质量。采用五轴联动加工技术,实现了喷管的复杂曲面和内部流道的高精度加工^[1]。五轴联动加工可以同时控制刀具的位置和方向,使得刀具能够沿着喷管的复杂曲面进行切削,避免了多次装夹带来的误差积累。同时,五轴联动加工还可以优化切削条件,提高加工效率和精度。

4 数控车床在精密航空航天部件加工中的优势分析

4.1 高精度加工能力

数控车床采用高精度的数控系统和机械部件,能够实现微米级甚至纳米级的加工精度。这对于航空航天领域中的高精度零部件加工至关重要,如发动机叶片、机身结构件等。通过精确控制刀具轨迹和切削参数,数控车床能够确保加工出的零部件满足设计要求,提高航空

航天器的性能和可靠性。

4.2 高效率生产能力

数控车床的自动化程度高,能够实现连续、稳定的加工,大大提高了生产效率。同时,通过优化切削参数、刀具路径和换刀时间,可以进一步缩短加工周期,降低生产成本。这对于航空航天领域中的大批量生产具有重要意义,能够满足航空航天器对零部件的大量需求。

4.3 灵活性强的适应能力

数控车床可以通过编程实现各种复杂形状和尺寸的加工,具有很强的灵活性。无论是简单的圆柱体、圆锥体,还是复杂的曲面零件,如航空发动机叶片、机身结构件等,都可以通过数控车床进行加工^[4]。这使得数控车床在航空航天领域中的应用范围更加广泛,能够满足不同型号航空航天器对零部件的多样化需求。

4.4 可靠的加工质量

数控车床采用先进的数控技术和精密的机械结构,能够确保加工过程中的稳定性和可靠性。通过精确控制刀具轨迹和切削参数,数控车床能够减少切削力和热变形,提高加工精度和表面质量。同时,采用在线测量技术和高精度测量仪器,对加工过程中的关键尺寸进行实时监控和调整,确保加工出的零部件满足设计要求。

结语

本文通过对数控车床在精密航空航天部件加工中的应用分析,全面展示了数控车床在航空航天领域中的高精度、高效率加工能力。数控车床通过其高精度加工能力、高效率生产能力、灵活性强的适应能力和可靠的加工质量,在航空航天领域中发挥着至关重要的作用。未来,随着科技的不断进步和数控车床技术的不断发展,数控车床在航空航天领域中的应用将更加广泛和深入。一方面,数控车床将不断向更高精度、更高效率、更强灵活性的方向发展,满足航空航天领域对零部件的更高要求。

参考文献

- [1]刘旭东.数控机床在航空零部件精密加工中的应用[J].模具制造,2024,24(12):257-259.
- [2]韩素桃.基于数控加工特征识别及参数优化的航空发动机典型零件数控系统的开发[J].自动化与仪器仪表,2024,(07):133-137.
- [3]季荣荣.数控多轴加工在航空制造中的应用与优化研究[J].中国设备工程,2024,(12):104-106.
- [4]齐东昱.航空结构件精益数控加工单元构建方法及其应用研究[D].浙江大学,2024.