

机床高速电主轴工作原理与应用分析

陈 锴

(斯凯孚(上海)汽车技术有限公司, 上海 201814)

摘要 机床高速电主轴作为现代制造业中关键的加工设备, 探讨其工作原理与应用要点对于提高加工效率、精度和表面质量具有重要意义。高速电主轴的发展源于对加工效率提升的需求, 其在传统机床主轴的基础上引入了电驱动和精密控制技术, 使得机床在高转速、高精度、高效率的加工领域展现出更强大的性能优势。基于此, 本文深入探讨机床高速电主轴原理与应用, 以供相关人员参考。

关键词 机床; 高速电主轴; 温度控制

中图分类号: TG502

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0004-03

传统的机床主轴通常由传动系统和润滑冷却系统组成, 但受到转速和精度的限制, 无法满足现代制造业中对高速、高效加工的要求。而机床高速电主轴采用电机直接驱动带动刀具旋转, 不仅能够实现高速转动, 还能够实现快速启停, 提高加工效率和生产灵活性, 高速电主轴还具备精准控制和反馈技术, 可以实现高精度的加工和表面质量要求。

1 机床高速电主轴工作原理

机床高速电主轴是一种用于加工和切削的核心设备, 其工作原理是基于电机驱动和电转子技术。

首先, 机床高速电主轴采用高速电机作为驱动源。通常使用的电机类型是无刷直流电机(BLDC)或交流伺服电机, 这些电机能够提供高转速和高精度的转动。

其次, 电机通过电源和控制系统供电, 转子安装在主轴轴芯, 轴芯与主轴轴承直接连接。电源提供所需的电流和电压, 控制系统负责控制电机的转速、转向和位置精度。主轴轴承用于支撑和固定主轴, 保证其在高转速下的稳定运行。此外, 机床高速电主轴还配备了适当的冷却系统, 快速传导摩擦产生的热量和定子线圈工作产生的热量从而控制主轴温度。常见的冷却方式为冷却液循环系统冷却, 通过在主轴轴芯和轴承座体周围提供冷却液进行散热, 以保持机床的稳定性和耐用性。

最后, 机床高速电主轴的原理是通过电机的高速旋转驱动主轴轴承带动刀具进行切削加工。定子线圈电磁场产生的旋转运动转化为主轴轴承和刀具的旋转运动, 从而实现对工件的加工操作。

总之, 机床高速电主轴是现代加工领域中重要的核心设备, 机床高速电主轴通过高速电机驱动, 配备

控制系统和冷却系统, 实现了对工件的高速切削加工, 其关键组成部分包括电机、控制系统、主轴轴承和冷却系统, 通过电机带动主轴轴承和刀具的旋转, 实现对工件的精确加工, 提高了加工效率和精度。

2 机床高速电主轴应用要点

2.1 温度控制与冷却

机床高速电主轴在现代制造业中具有重要的应用价值, 其温度控制与冷却系统设计对于确保电主轴的稳定性和性能至关重要。下面将详细说明机床高速电主轴应用中的温度控制与冷却系统设计要点, 并列出具体的设计数据。

首先是温度控制系统的设计。高速电主轴在长时间运转过程中会产生大量热量, 需要设计合理的温度检测控制系统来确保电主轴在安全的温度范围内运行。常见的温度控制系统包括热管理系统、温度传感器、风冷或液冷系统等。温度传感器用于实时监测电主轴的工作温度, 一般要求传感器的测量精度达到 0.1°C 。热管理系统可以通过控制冷却介质的流动速度和温度, 调节电主轴的工作温度, 保持在安全的范围内。例如, 对于某型号的高速电主轴, 其允许的工作温度范围为 20°C 至 40°C , 需要通过温度控制系统进行实时监测。

其次是冷却系统的设计。冷却系统通常采用风冷或液冷方式, 用于快速有效地散热, 确保电主轴的工作温度在安全范围内。在风冷系统设计中, 需要根据电主轴的转速、功率等参数选用合适的冷却风扇, 并设置合理的散热通道和排风口, 确保热量能够快速有效地散发。而在液冷系统设计中, 需要选择合适的冷却液, 确保冷却效果良好。针对某型号高速电主轴, 其液冷系统的冷却剂一般选择水基类或油基类, 需保

持冷却液的温度在 5 °C 至 25 °C 范围内, 以保证冷却效果。另外, 对于高速电主轴的温度控制和冷却系统设计中, 还需要考虑到通风散热和热量传导性能。通风散热设计要求合理设置散热孔、散热片或散热管, 以保证散热效果良好。例如, 高速电主轴的通风散热设计需满足指定的空气流量和散热效率, 确保长时间高速运行时能够有效散热。还需要针对电主轴的主轴承区域和主轴夹持部位进行热量传导性能设计, 以维持关键部位的温度稳定。

最后, 在温度控制与冷却系统设计中, 还需要考虑设备的自动监测和报警功能。高速电主轴通常需要配备温度报警装置, 一旦发现温度异常或超标, 能够及时发出报警信号并停止运行, 确保设备和人员的安全。

2.2 振动控制与降噪

机床高速电主轴在现代制造业中广泛应用, 振动控制与降噪是确保电主轴稳定性和工作环境舒适性的关键点。下面将详细说明机床高速电主轴应用中的振动控制与降噪要点, 并列举具体的数据。

首先是振动控制系统的设计。高速电主轴在运转过程中会产生振动, 而过大的振动会降低设备的稳定性和加工质量。设计合理的振动控制系统非常重要^[1]。振动控制系统通常包括振动传感器、振动阻尼器、控制算法等。振动传感器用于实时监测电主轴的振动情况, 其测量范围一般在 0.1 mm/s 至 100 mm/s 之间。振动阻尼器可通过加装阻尼材料、改变结构形式等方式来减少振动传递, 并提高系统的稳定性。控制算法应用于分析和处理振动信号, 通过调整电主轴的运行参数, 实现振动的控制。例如, 某型号高速电主轴的振动控制系统需要满足振动控制精度小于 0.5 mm/s, 以保证加工质量。

其次是降噪系统的设计。高速电主轴在运转过程中会产生噪声, 而过大的噪声将对工作环境产生负面影响。降噪系统的设计能够有效减少电主轴的噪声水平, 提高工作环境的舒适性。降噪系统通常包括噪声传感器、隔音材料、消声器等。噪声传感器用于实时监测电主轴的噪声水平, 其测量范围一般在 20 dB 至 120 dB 之间。隔音材料可用于电主轴周围的隔音罩或隔音箱的设计, 通过选择合适的隔音材料和结构形式来降低噪声传播。消声器可使用在通风系统中, 用于吸收或消除流体中的噪声, 以降低设备整体的噪声水平。例如, 某型号高速电主轴的降噪系统需要满足噪声水平小于 70 dB(A) 的要求, 以提供良好的工作环境。

另外, 在振动控制与降噪系统设计中, 还需要考虑到动平衡与校准^[2]。电主轴的动平衡是振动控制的

重要一环, 它可以通过加重和平衡块的调整来减少电主轴的不平衡量, 提高设备的稳定性。校准则是确保传感器和控制系统的准确性和一致性, 减少误差和干扰, 以提高振动控制和降噪的效果。

2.3 润滑与密封

机床高速电主轴在现代制造业中广泛应用, 润滑与密封是确保电主轴正常运行和延长寿命的关键要点。下面将详细说明机床高速电主轴应用中的润滑与密封要点, 并列举具体的数据。

首先是润滑系统的设计。高速电主轴在运转过程中需要良好的润滑来减少摩擦、磨损和热量产生, 保持正常运行。润滑系统通常包括润滑剂、润滑脂或润滑油、润滑腔、润滑油池等。润滑剂的选用要根据电主轴的工作条件和要求来确定, 常见的润滑脂表观黏度在 400 mm²/s 到 600 mm²/s 之间。润滑剂需要在高速和主轴运行温度环境下保持稳定的性能, 具备耐磨、耐腐蚀和良好的附着性。例如, 某型号高速电主轴的润滑脂需满足在 18000 转 / 分钟工作转速下, 工作温度在 50 °C 至 60 °C 之间的要求。

其次是密封系统的设计。高速电主轴的密封系统设计能够有效阻止灰尘、液体和其他污染物进入轴承和其他关键部件, 以保护电主轴的正常运行。常见的密封形式包括橡胶密封圈、机械密封、气体密封等。选用密封方式需要根据电主轴的工作环境和要求来确定, 确保密封效果良好, 并且能够承受高速转动和腐蚀环境^[3]。例如, 某型号高速电主轴的密封结构需满足转速在 15000 转 / 分钟以下, 工作温度在 50 °C 至 60 °C 之间, 同时具备耐油和耐磨的性能。

另外, 在润滑和密封系统设计中, 还需要考虑到润滑和冷却的协同效果。电主轴通常需要通过润滑油池或冷却装置来保持润滑剂的稳定性和降低温度。合理的润滑和冷却系统设计能够有效降低电主轴的温度, 并延长轴承和关键部件的使用寿命。

2.4 运动控制和驱动

在机床高速电主轴的应用中, 运动控制和驱动是至关重要的, 对于提高加工效率和精度起着关键作用。

首先, 运动控制系统能够实现对电主轴的高速运转和精准控制, 通过精确的速度控制和位置控制从而实现对工件进行快速高效的加工。运动控制系统可以确保电主轴在加工过程中以设定的速度和轨迹运行, 使加工过程更加稳定和高效。在高速电主轴应用中, 要求运动控制系统拥有高速响应和精准的控制能力, 以应对高速旋转电主轴的需求。运动控制系统还需要具备强大的实时性和稳定性, 能够实现对电主轴的高

速控制,确保加工精度和表面质量。除此之外,运动控制系统还需要具备良好的抗干扰能力,以保证电主轴在各种工况下都能够稳定运行,不受外部干扰的影响。运动控制系统的稳定性、精度和响应速度是机床高速电主轴应用中不可或缺的要害。

其次,驱动系统是实现电主轴高速旋转的核心部件,直接影响着电主轴的运行效率和性能表现。在机床高速电主轴应用中,要求驱动技术具有高效、稳定、快速响应的特点,能够满足高速电主轴运转的需求。高性能的电机驱动器能够快速、准确地响应控制指令,实现对电主轴旋转速度的精准控制,并保证在高速运转下提供充足的动力输出。为了提高机床的加工效率和精度,驱动系统还需要具备优异的动态响应特性,能够快速实现从静止到高速的转速变化,同时具备较高的转矩响应能力,以适应不同工件材料和加工需求。驱动技术还需要具备良好的热稳定性和系统整体耐用性,确保电主轴长时间高速运行下仍能保持稳定性和可靠性。高速电主轴应用中,驱动技术的高效性、稳定性、动态响应性和耐用性不可或缺。

综上所述,在机床高速电主轴的应用中,运动控制和驱动技术是两个关键要点。优异的运动控制系统能够确保电主轴的高速稳定运行和加工精度,而先进的驱动技术则能够提供高效、稳定、快速响应的动力输出,共同实现机床在高速加工中的高效运转和高精度加工^[4]。

2.5 智能控制与自适应

智能控制与自适应技术是两个重要的要点,它们对于提高机床高速加工的效率、精度和安全性起着关键作用。

智能控制系统能够通过建立模型和算法,实时监测电主轴的运行状态,根据实时数据进行智能调控和优化控制,以达到最佳的加工效率和精度。智能控制技术可以通过分析工艺参数、加工负荷、刀具磨损等多个因素,自动调整电主轴的转速、进给速度和切削参数,以实现高效的加工和减少不良加工情况的发生。智能控制系统还可以通过学习算法和人工智能技术,实现对电主轴的自动故障诊断和预测维护,及时发现和处理潜在的故障风险,提高设备的可靠性和安全性。智能控制技术的应用能够实现对电主轴加工过程的优化控制和智能管理,提高机床的高速加工效率、精度和可靠性。

自适应技术能够根据实时的工况变化和加工需要,对电主轴的控制参数进行实时调整和优化,以满足不同加工要求。由于高速加工往往存在加工负荷变化、

刚性变差、切削力波动等问题,传统的固定参数控制很难满足高速加工的精度要求。而自适应技术通过实时的感知和反馈,能够动态地调整电主轴的控制参数,使其自动适应外部环境和加工变化,以实现更加稳定和精确的加工过程。例如,自适应控制技术可以通过实时监测刀具磨损情况,自动调整刀具的进给深度和速度,以保持加工精度,并延长刀具的使用寿命。自适应技术还可以根据工件材料的变化和切削力的实时测量,调整电主轴的转速和进给速度,以克服加工过程中的动态波动,提高加工精度和表面质量。自适应技术的应用能够实现对电主轴加工过程的智能调整和控制,在高速加工中提高加工效率和加工质量。总而言之,机床高速电主轴应用中的智能控制和自适应技术,能够实现对电主轴加工过程的优化控制和智能管理,提高机床的高速加工效率、精度和可靠性。它们对于实现智能化生产和提升机床加工能力具有重要意义,为机床高速电主轴的应用提供了更高水平的技术支持和发展空间^[5]。

3 结束语

在机床制造领域,高速电主轴的应用已经成为提高加工效率、精度和质量的重要手段,通过对高速电主轴的工作原理进行深入研究和应用,我们能够实现更快速、更精准的加工,从而为制造业的发展做出贡献。未来,随着制造技术的不断发展和进步,高速电主轴将继续发挥重要作用,未来的高速电主轴将更加智能化、集成化,能够更好地适应各种复杂加工需求,并具备更高的能效和环保性能。随着人工智能、大数据等新技术的广泛应用,高速电主轴将与其他智能设备和系统实现更紧密的集成,为制造业的数字化转型和智能化发展提供有力支持。期待高速电主轴技术能够不断创新,为制造业的可持续发展和进步做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 郑良钢,陈铮,周志科.数控机床高速电主轴技术要点分析[J].中国设备工程,2021(09):203-204.
- [2] 李然,王生怀,袁海兵.高速电主轴自动松锁刀装置的设计[J].中国工程机械学报,2021,19(01):72-76.
- [3] 唐传胜.高速电主轴动力学模型参数多新息随机梯度辨识[J].组合机床与自动化加工技术,2020(10):68-71.
- [4] 王楠.复杂工况下电主轴热误差建模及补偿方法研究[D].西安:西安理工大学,2023.
- [5] 朱恩旭,蔡合超,牛朝阳,等.接触热阻对电机内各部位温度的影响研究[J].电气防爆,2023(03):1-4,8.