

高效切削技术在机械加工中的实践与创新

王伊涛 张家文 王 威

一拖（洛阳）柴油机有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要：本文聚焦于高效切削技术在机械加工领域的实践与创新。阐述了高效切削技术对提升生产效率、降低成本、保证加工质量及促进绿色制造的重要意义。详细分析了高速切削、干式切削、硬态切削等技术在机械加工中的实践应用情况。探讨了在实践过程中面临的刀具磨损、设备成本高、工艺稳定性差和技术人员短缺等挑战。着重论述了刀具材料、工艺参数优化、智能化控制、绿色制造等方面的创新方向，旨在为机械加工行业高效切削技术的发展提供理论支持与实践指导。

关键词：高效切削技术；机械加工；实践应用；创新方向

1 引言

机械加工行业作为制造业的核心组成部分，其发展水平直接关系到国家整体工业实力。在当今全球竞争日益激烈的市场环境下，机械加工企业面临着提高生产效率、降低成本、提升产品质量等多重挑战。高效切削技术作为一种先进的制造技术，通过优化切削参数、改进刀具材料和结构等方式，实现了高速、高精度、高可靠性的切削加工，为机械加工行业带来了新的发展机遇。

2 高效切削技术的实践应用

2.1 高速切削技术

2.1.1 技术原理

高速切削是指切削速度比传统切削速度高出数倍甚至数十倍的切削加工方法。其核心技术原理基于高速旋转的刀具与工件之间的高速相对运动。当切削速度达到一定临界值后，切削力会显著减小，切削热分散，切削过程变得更加稳定。这是因为高速切削时，刀具在单位时间内切除的材料体积相对减小，切削变形程度降低，从而减少了切削力的产生。同时，高速切削使切屑形成过程加快，切屑带走大量的切削热，降低了工件和刀具的温度，有利于提高加工精度和刀具使用寿命。

2.1.2 应用领域

高速切削技术广泛应用于航空航天、汽车制造、模具加工等领域。在航空航天领域，飞机零部件大量采用铝合金、钛合金等轻质高强度材料，这些材料具有良好的切削加工性能，适合高速切削。高速切削可以快速、高效地加工出飞机结构件，满足航空航天产品对轻量化和高强度的要求^[1]。在汽车制造领域，高速切削技术用于加工发动机缸体、缸盖、曲轴等关键零部件。例如，发动机缸体的加工精度要求极高，高速切削可以实现高精度、高效率的加工，提高发动机的性能和可靠性。在模具加

工领域，高速切削可快速加工出高精度的模具型腔，缩短模具制造周期，提高模具质量，降低模具成本。

2.2 干式切削技术

2.2.1 技术原理

干式切削是指在切削过程中不使用切削液的切削加工方法。其技术原理主要是通过优化刀具材料和几何形状、改进切削参数等方式，提高刀具的散热性能和切削能力。新型的刀具材料如陶瓷、立方氮化硼等具有高硬度、高耐磨性和良好的导热性，能够在无切削液条件下承受高温和高负荷的切削。同时，通过优化刀具的几何形状，如增大前角、后角和刃倾角等，可以改善切削刃的切削性能，减少切削力和切削热的产生。此外，合理选择切削参数，如降低切削深度、提高进给速度等，也有助于提高干式切削的效果。

2.2.2 应用领域

干式切削技术适用于各种金属材料的切削加工，尤其适用于对环境要求较高的场合，如食品机械、医疗器械等行业的零件加工。在食品机械制造中，使用干式切削技术可以避免切削液对食品的污染，保证产品的质量和安全性。在医疗器械制造中，不锈钢等材料是常用的制造材料，干式切削技术可以满足医疗器械对高精度、高表面质量的要求，同时减少切削液对环境的污染。此外，干式切削技术还可用于一些难加工材料的切削加工，如高强度钢、不锈钢等，通过优化刀具和切削参数，实现高效、环保的切削加工。

2.3 硬态切削技术

2.3.1 技术原理

硬态切削是指对淬硬钢等高硬度材料（硬度通常在50HRC以上）进行切削加工的方法。其技术原理是利用刀具的高硬度和耐磨性，在高速切削条件下直接对高硬

度材料进行切削，代替传统的磨削工艺。硬态切削时，刀具与工件之间产生剧烈的摩擦和切削力，刀具需要具备足够的硬度和强度来承受高负荷的切削。同时，通过合理选择刀具材料和几何形状，优化切削参数，如降低切削速度、增大进给量等，可以减少刀具磨损，提高加工表面质量。

2.3.2 应用领域

硬态切削技术广泛应用于模具制造、机械零部件加工等领域。在模具制造中，模具的型腔和型芯通常采用淬硬钢等高硬度材料制造，传统磨削工艺加工周期长、成本高，且容易产生表面烧伤和裂纹等缺陷。硬态切削技术可以快速、高效地加工出高精度的模具型腔，提高模具的加工精度和表面质量，缩短模具制造周期。在机械零部件加工中，硬态切削技术可用于加工齿轮、轴类等高硬度零件，提高零件的使用寿命和可靠性。

3 高效切削技术实践过程中面临的挑战

3.1 刀具磨损问题

高效切削技术在提高切削速度和进给速度的同时，也加剧了刀具的磨损。刀具磨损不仅会影响加工质量和生产效率，还会增加刀具更换成本。特别是在高速切削和硬态切削等极端切削条件下，刀具磨损问题更为突出。在高速切削中，刀具与工件的高速相对运动产生大量的切削热，使刀具温度升高，加速了刀具材料的软化、氧化和扩散磨损。在硬态切削中，高硬度材料的切削对刀具的硬度和耐磨性提出了极高的要求，刀具容易发生崩刃、磨损等失效形式。

3.2 设备成本较高

高效切削技术需要高性能的机床和刀具来支持。高速切削机床需要具备高刚性、高转速、高精度等特点，其主轴转速可达数万转每分钟甚至更高，机床的动态性能和热稳定性要求也非常高。这些高性能的机床价格通常比传统机床高出数倍甚至数十倍，对于一些中小企业来说，难以承受高效切削技术的设备投资成本^[2]。同时，高性能的刀具材料和复杂的刀具结构也导致刀具成本较高，进一步增加了企业的生产成本。

3.3 工艺稳定性问题

高效切削技术对工艺参数的要求非常严格，切削速度、进给速度、切削深度等参数的微小变化都可能影响加工质量和生产效率。在实际生产中，由于工件材料的不均匀性、机床性能的波动、刀具的磨损等因素，容易导致工艺稳定性下降，出现加工质量不稳定、刀具损坏等问题。例如，工件材料的硬度不均匀会导致切削力波动，使刀具受力不均，加速刀具磨损；机床主轴的振动

会影响加工表面的粗糙度，降低加工质量。

3.4 技术人员短缺

高效切削技术的应用需要具备专业知识和技能的技术人员。技术人员需要掌握高效切削技术的原理、刀具选型、工艺参数优化等方面的知识，同时还需要具备丰富的实践经验，能够解决实际生产中遇到的问题。目前，我国机械加工行业高素质技术人才短缺，特别是掌握高效切削技术的专业人才更是匮乏。技术人员短缺制约了高效切削技术在机械加工行业的推广和应用，影响了企业的技术创新和生产效率提升。

4 高效切削技术的创新方向

4.1 刀具材料创新

4.1.1 新型超硬材料刀具

研发新型超硬材料刀具是提高刀具耐磨性和使用寿命的关键。目前，金刚石刀具和立方氮化硼刀具在高效切削中得到了广泛应用，但它们的成本较高。未来，应加大对新型超硬材料的研究和开发力度，如纳米晶体金刚石、聚晶立方氮化硼等。纳米晶体金刚石具有更高的硬度和耐磨性，能够在更高的切削速度和温度下保持良好的切削性能；聚晶立方氮化硼刀具通过优化晶体结构和制备工艺，提高了刀具的韧性和抗冲击性能，适用于更广泛的切削加工条件。

4.1.2 涂层刀具技术

涂层刀具技术是在刀具表面涂覆一层或多层具有特殊性能的涂层，以提高刀具的硬度、耐磨性、耐热性和抗氧化性。目前，常用的涂层材料有碳化钛、氮化钛、氧化铝等。未来，应不断改进涂层材料和涂层工艺，开发出具有更高性能的涂层刀具，如多层复合涂层、纳米涂层等^[3]。多层复合涂层可以将不同性能的涂层材料组合在一起，发挥各涂层的优势，提高刀具的综合性能；纳米涂层具有更细的晶粒结构，能够提高涂层的致密性和附着力，进一步增强刀具的耐磨性和耐热性。

4.2 工艺参数优化创新

4.2.1 基于人工智能的工艺参数优化

利用人工智能技术，如神经网络、遗传算法等，对高效切削工艺参数进行优化。通过建立切削工艺参数与加工质量、生产效率之间的数学模型，利用人工智能算法对模型进行求解，得到最优的工艺参数组合。例如，利用神经网络可以建立切削速度、进给速度、切削深度等参数与加工表面粗糙度、刀具磨损量之间的非线性映射关系，通过训练神经网络模型，预测不同工艺参数下的加工结果，并利用遗传算法等优化算法寻找最优的工艺参数。这种方法能够快速、准确地找到最优工艺参

数,提高工艺优化的效率和准确性。

4.2.2 动态工艺参数调整

在切削加工过程中,根据工件材料的特性、刀具磨损状态等因素,实时动态调整工艺参数。通过安装传感器实时监测切削过程中的切削力、切削温度、振动等参数,根据监测结果及时调整切削速度、进给速度等工艺参数,保证加工过程的稳定性和加工质量。例如,当监测到切削力突然增大时,可能是刀具磨损或工件材料硬度不均匀导致的,此时可以自动降低切削速度或进给速度,避免刀具损坏和加工质量下降。

4.3 智能化控制创新

4.3.1 智能机床技术

智能机床是高效切削技术发展的重要方向。智能机床具备自适应控制、智能诊断、智能补偿等功能,能够根据加工过程中的实际情况自动调整机床的运行状态,保证加工过程的稳定性和加工质量。例如,智能机床可以根据刀具磨损情况自动调整切削参数,延长刀具使用寿命;可以根据工件材料的变形情况自动补偿加工误差,提高加工精度^[4]。智能机床还具备智能诊断功能,能够实时监测机床的运行状态,及时发现故障隐患并发出警报,减少机床停机时间,提高生产效率。

4.3.2 数字化双胞胎技术

数字化双胞胎技术是指在虚拟空间中创建与实际物理系统完全对应的数字化模型,通过模拟实际加工过程,对加工工艺进行优化和验证。在高效切削中,利用数字化双胞胎技术可以提前预测加工过程中可能出现的问题,如刀具磨损、加工变形等,并采取相应的措施进行预防和解决,提高加工过程的可靠性和稳定性。例如,在加工前,通过数字化双胞胎模型模拟切削过程,优化刀具路径和切削参数,减少实际加工中的试切次数,提高生产效率;在加工过程中,实时将实际加工数据与数字化模型进行对比,及时发现偏差并进行调整,保证加工质量。

4.4 绿色制造创新

4.4.1 低温冷却切削技术

低温冷却切削技术是在切削过程中使用低温冷却介质(如液氮、二氧化碳等)对刀具和工件进行冷却和润滑,以降低切削温度、减少刀具磨损、提高加工质量。与传统的切削液冷却相比,低温冷却切削技术具有冷却效果好、无污染等优点。液氮等低温冷却介质在汽化过程中吸收大量的热量,能够迅速降低切削区域的温度,

减少刀具的热磨损和工件的热变形。同时,低温冷却切削技术无需使用化学切削液,避免了切削液对环境的污染,符合绿色制造的要求。

4.4.2 切削废弃物回收利用技术

在高效切削过程中,会产生大量的切屑和废液等废弃物。研发切削废弃物回收利用技术,将切屑回收熔炼成新的金属材料,将废液进行处理和净化后循环使用,不仅可以减少资源浪费和环境污染,还可以降低生产成本。例如,通过先进的熔炼技术将切屑回收制成高品质的金属锭,重新用于零件制造;采用物理、化学等方法对废液进行处理,去除其中的杂质和有害物质,使废液达到循环使用的标准,减少切削液的采购和处理成本。

结语

高效切削技术作为机械加工行业的一项先进制造技术,具有重要的现实意义和广阔的发展前景。通过实践应用高速切削、干式切削、硬态切削等技术,机械加工企业能够显著提升生产效率、降低成本、保证加工质量,促进绿色制造。然而,在高效切削技术的实践过程中,也面临着刀具磨损、设备成本高、工艺稳定性差和技术人员短缺等挑战。为了推动高效切削技术的进一步发展,需要从刀具材料创新、工艺参数优化创新、智能化控制创新和绿色制造创新等方面入手,不断探索新的技术和方法。通过持续的创新和实践,高效切削技术将在机械加工行业发挥更大的作用,为我国制造业的转型升级和高质量发展提供有力支撑。未来,随着科技的不断进步,高效切削技术将不断向高速化、智能化、绿色化方向发展。我们应密切关注国际前沿技术动态,加强产学研合作,加大研发投入,培养高素质技术人才,推动我国高效切削技术达到国际先进水平,提升我国机械加工行业的国际竞争力。

参考文献

- [1]金达.数控高速切削加工技术在机械制造中的应用分析[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(三).舒马赫模具科技(杭州)有限公司,2025:380-383.
- [2]陈鹏武,魏安,徐东华,等.机械加工过程中的切削力分析与控制策略研究[J].模具制造,2024,24(05):237-239.
- [3]索振国.绿色机械制造工艺在切削加工中的应用分析[J].中国机械,2023,(18):116-119.
- [4]谢政伟.数控高速切削加工技术在机械制造中的应用策略[J].内燃机与配件,2023,(07):105-107.