

# 机械制造过程中金属切削刀具的运用分析

黄成水

丹佛斯(天津)有限公司 天津市制冷空调压缩机技术重点实验室 天津 301700

**摘要:** 随着机械制造技术不断革新,金属切削刀具在加工中作用关键。本文聚焦机械制造过程中金属切削刀具的运用展开分析。首先阐述金属切削刀具的理论基础,包括切削运动、刀具分类与结构、几何角度等内容。接着探讨影响刀具运用的核心因素,如工件材料特性、刀具材料性能等。随后介绍运用的关键技术,涵盖刀具涂层、智能化刀具系统等。最后展望刀具发展趋势,指出其将朝着高端化、智能化、绿色化及服务化方向迈进。通过全面分析,为机械制造中金属切削刀具的合理运用与优化发展提供参考。

**关键词:** 机械制造;金属切削刀具;运用分析

引言:在机械制造领域,金属切削加工是极为关键的工艺环节,而金属切削刀具则是实现这一工艺的核心工具,其性能与运用水平直接影响加工质量、效率及成本。随着制造业的快速发展,对机械零部件的精度、表面质量等要求日益严苛,传统刀具及运用方式面临诸多挑战。在此背景下,深入剖析金属切削刀具在机械制造过程中的运用,探究其理论基础、影响因素、关键技术及发展趋势,有助于提升刀具运用效能,推动机械制造行业技术进步,增强我国制造业的核心竞争力。

## 1 机械制造过程中金属切削刀具的理论基础

### 1.1 切削运动与切削要素

切削运动是金属切削加工中刀具与工件间的相对运动,分主运动和进给运动。主运动是使刀具切入工件,切除多余材料的主要运动,如车削时工件的旋转运动;进给运动则使刀具连续切削,形成已加工表面,如车削时刀具的纵向移动。切削要素包含切削速度、进给量和背吃刀量。切削速度影响切削温度与刀具磨损;进给量决定切削层厚度,影响表面质量;背吃刀量反映切削深度,关乎切削力和切削功率。

### 1.2 刀具的分类与结构

金属切削刀具种类繁多,按切削方式可分为车刀、铣刀、钻头;按刀具材料有高速钢刀具、硬质合金刀具等。车刀结构简单,主要由刀头和刀杆组成,刀头承担切削任务;铣刀多为多刃刀具,有圆柱形、端面等多种形状,可实现不同加工需求;钻头用于钻孔加工,有麻花钻等类型。刀具结构虽各异,但都包含切削部分、导向部分等。切削部分直接参与切削,其几何形状和尺寸影响切削性能;导向部分保证刀具的加工精度和稳定性,合理设计刀具结构能提升加工效果。

### 1.3 刀具的几何角度

刀具几何角度是描述刀具切削部分各表面空间位置关系的参数。前角影响切削刃锋利程度和切削变形,增大前角可减小切削力,但会降低刀刃强度;后角能减少刀具后刀面与工件间的摩擦,后角过大,会使切削刃强度降低;主偏角改变切削刃工作长度和切削层形状,影响切削力和散热条件;副偏角减小副切削刃与已加工表面的摩擦,影响表面粗糙度;刃倾角控制切屑流出方向,还能影响切削刃强度。合理选择刀具几何角度,可优化切削过程,提高加工质量和刀具耐用度<sup>[1]</sup>。

## 2 机械制造过程中金属切削刀具运用的核心影响因素

### 2.1 工件材料特性

工件材料的物理和力学性能对金属切削刀具运用影响显著。物理性能方面,材料的导热性影响切削热的传导,导热性差会使切削区温度升高,加速刀具磨损;比热容大的材料,在切削时吸收热量多,温度上升相对缓慢。力学性能上,硬度高的材料切削阻力大,对刀具磨损快;塑性好的材料切削时易产生积屑瘤,影响表面质量;韧性高的材料切削时断屑困难,易缠绕刀具。因此,需根据工件材料特性合理选择刀具材料、几何参数和切削用量,以保证加工质量和效率。

### 2.2 刀具材料性能

刀具材料性能是决定其切削能力和使用寿命的关键因素。硬度是刀具材料的基本性能,硬度高才能切入工件,且抵抗磨损能力强。耐磨性好的刀具在切削过程中能保持刃口锋利,减少刀具磨损,延长使用寿命。强度和韧性也很重要,强度高可承受较大的切削力,韧性好能防止刀具在切削时因冲击而崩刃。此外,耐热性影响刀具在高温下的性能,耐热性好的刀具在高速切削时能

保持较好的硬度和耐磨性。

### 2.3 刀具几何参数选择

刀具几何参数对切削过程和加工质量影响巨大。前角影响切削刃的锋利程度和切削变形,增大前角可减小切削力,但过大会降低刀刃强度;后角能减少后刀面与工件的摩擦,后角过大也会削弱刀刃强度。主偏角改变切削刃工作长度和切削层形状,影响切削力和散热条件;副偏角影响已加工表面粗糙度;刃倾角控制切屑流出方向并影响切削刃强度。合理选择这些几何参数,可优化切削过程,提高刀具耐用度,降低加工成本,获得良好的加工表面质量。

### 2.4 切削用量设定

切削用量设定对金属切削刀具运用至关重要。切削速度直接影响切削温度和刀具磨损,提高切削速度可缩短加工时间,但过高会使刀具磨损加剧,甚至损坏。进给量影响切削层厚度和表面粗糙度,增大进给量可提高生产率,但过大易导致表面质量下降和刀具磨损加快。背吃刀量反映切削深度,增大背吃刀量能提高材料切除率,但过大会增加切削力和切削功率,对机床和刀具要求提高<sup>[2]</sup>。

## 3 机械制造过程中金属切削刀具运用的关键技术

### 3.1 刀具涂层技术

刀具涂层技术通过在基体表面沉积耐磨、耐热、耐腐蚀的化合物薄膜,显著提升刀具性能。化学气相沉积(CVD)在950-1050℃高温下分解金属卤化物,形成厚度5-10 $\mu\text{m}$ 的涂层,适用于硬质合金刀具的高速粗加工,如汽车发动机缸体加工中,CVD涂层硬质合金铣刀寿命提升3倍以上。物理气相沉积(PVD)在300-500℃低温下通过溅射或蒸发沉积,涂层厚度2-5 $\mu\text{m}$ ,适用于高速钢刀具的精密加工,如航空钛合金零件的PVDTiAlN涂层钻头,切削速度提高70%且刀具寿命延长4倍。复合涂层技术如TiCN/TiAlN多层结构,通过纳米级晶粒细化降低内应力,使涂层硬度接近立方氮化硼(CBN),在汽车齿轮加工中实现0.5级精度提升。

### 3.2 智能化刀具系统

智能化刀具系统集成传感器、物联网与自适应控制技术,实现加工过程实时优化。模块化刀柄通过快换接口兼容多种刀具,在汽车变速器壳体加工中,刀柄更换时间从15分钟缩短至30秒。智能监测系统利用振动传感器与AI算法,在加工中心主轴转速达12000rpm时,实时检测刀具磨损状态,当后刀面磨损量超过0.3mm时自动触发换刀指令,避免工件报废。数字化双胞胎技术通过虚拟仿真优化切削参数,在航空发动机叶片加工中,将试

切次数从5次减少至1次,开发周期缩短40%。伊斯卡等企业推出的ISO13399标准数字化刀具包,包含3D模型与切削参数库,支持CAM软件直接调用,使数控编程效率提升60%。

### 3.3 绿色制造技术

绿色制造技术通过工艺优化与资源循环降低环境负荷。干式切削技术采用高压气流替代切削液,在汽车连杆加工中减少废水排放98%,单件能耗降低22%。微量润滑(MQL)技术将润滑剂雾化至微米级,在轴承套圈加工中切削液用量从20L/min降至0.1L/min,同时降低刀具温度30%,延长刀具寿命1.8倍。可降解植物基切削液在精密零件加工中替代矿物油,生物降解率达92%,减少职业病发病率。废屑回收系统通过磁选与熔炼,将铝合金切屑回收率提升至95%,在新能源汽车电机壳体生产中,每年节约原材料成本120万元。能源管理系统通过变频驱动与余热回收,使机床能耗降低18%,在大型压铸机加工中单件碳排放减少0.7kg。

### 3.4 切削数据库与工艺数据库技术

切削数据库通过数据驱动优化加工参数。成都工具研究所开发的CUTDATA系统涵盖2000余种工件材料与刀具组合,在航空结构件加工中,将试切参数优化时间从72小时缩短至8小时,材料去除率提升35%。基于MES的智能参数推送系统,在汽车曲轴加工中实时采集主轴负载、振动等12项数据,通过机器学习模型动态调整进给速度,使加工稳定性提升50%。山特维克COROMANT的Infocentre数据库集成20万组实验数据,支持用户输入工件材料硬度、表面粗糙度等约束条件,自动生成包含刀具型号、切削速度、冷却方式的完整工艺方案,在模具加工中使编程错误率降低至0.3%。自进化式数据库通过闭环反馈持续优化,在风电齿轮箱加工中,将参数迭代周期从1个月缩短至3天,加工效率提升22%。

### 3.5 切削技术专家系统

切削技术专家系统融合人工智能与领域知识,解决复杂加工决策问题。基于知识图谱的故障诊断系统,在数控机床加工中通过分析振动频谱、切削力波形等200余项特征参数,准确识别刀具崩刃、积屑瘤等12类故障,诊断准确率达92%。自适应控制专家系统在航空钛合金加工中,实时监测切削温度与刀具磨损,当温度超过650℃时自动调整冷却液流量,使刀具寿命延长40%。工艺规划专家系统针对复杂曲面加工,通过遗传算法优化刀具路径,在航天发动机叶片加工中,将加工时间从12小时缩短至8小时,表面粗糙度Ra值从1.6 $\mu\text{m}$ 降至0.8 $\mu\text{m}$ 。伊斯卡在线选刀系统NEOITA,通过输入工件材料、加工类型等

6项参数,3秒内推荐最优刀具组合,在汽车传动轴加工中使刀具选型效率提升80%,加工成本降低15%<sup>[3]</sup>。

#### 4 机械制造过程中金属切削刀具的发展趋势

##### 4.1 高端化发展

金属切削刀具正朝着高端化加速迈进。在材料方面,超硬材料应用愈发广泛,聚晶金刚石(PCD)刀具在碳纤维复合材料加工中实现无毛刺切削,成为航空航天轻量化的关键工具;聚晶立方氮化硼(PCBN)刀具凭借极高硬度和耐磨性,在航空航天钛合金结构件加工中实现进口替代。涂层技术也不断革新,单原子层涂层技术有望使刀具寿命突破1000小时,在半导体晶圆加工领域实现进口替代。在应用领域,航空航天领域对钛合金、高温合金等难加工材料的切削需求,推动陶瓷基复合刀具与聚晶立方氮化硼(PCBN)刀具的研发突破;新能源汽车领域,为应对铝合金、镁合金等轻质材料加工,高刚性、高耐磨性的硬质合金刀具需求激增。高端化发展使刀具能更好地满足高端制造业对高精度、高效率、高质量加工的需求。

##### 4.2 智能化融合

智能化融合是金属切削刀具发展的重要趋势。刀具将逐步集成传感器与数据芯片,实现切削过程的实时状态监控与寿命预测。例如,部分企业开发的智能刀具系统,通过传感器实时反馈切削状态,结合AI算法动态调整转速与进给量,使加工效率提升、刀具寿命延长。同时,基于工业互联网平台,刀具可与机床、工艺等实现协同优化,构建“刀具-设备-工艺”协同优化系统,推动智能制造场景落地。数字孪生技术的应用也进一步缩短了刀具研发周期,降低试错成本。通过虚拟仿真优化刀具设计与加工工艺,企业能更快速地推出适应市场需求的高性能刀具,提升市场竞争力。

##### 4.3 绿色化转型

环保要求日益严格,推动金属切削刀具行业向绿色

化转型。在涂层技术与材料方面,企业开发低能耗、低污染的涂层,减少涂层过程中的能源消耗与废弃物排放。例如,干式切削刀具通过优化刀口设计与涂层工艺,无需切削液即可实现高效加工,减少废弃物排放,降低后续零件清洗环节成本,提高整体生产效率。微量润滑技术可抑制温升、降低刀具磨损、提高工件加工质量,既提高效率又减少对环境的污染。绿色制造不仅是合规要求,更是企业提升品牌价值与市场竞争力的重要途径,符合环保标准的刀具产品在国际市场中可获得溢价,部分企业的绿色刀具产品线已贡献可观营收<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

在机械制造领域,金属切削刀具作为核心要素,其运用贯穿于各类加工场景,直接影响着产品质量、生产效率与成本效益。从传统加工到智能制造,刀具技术不断革新,高端化、智能化、绿色化、服务化趋势日益凸显。精准选用刀具、合理运用先进技术,能显著提升加工精度与稳定性,推动制造业向高端迈进。未来,随着新材料、新工艺的持续涌现,金属切削刀具将迎来更多发展机遇。我们需紧跟时代步伐,持续探索创新,充分发挥刀具优势,为机械制造行业的转型升级与高质量发展注入强劲动力。

#### 参考文献

- [1]严黎明,蔺国民,于彩云.基于绿色制造技术的金属切削刀具的选用方法研究[J].科学技术创新,2021(11):56-57.
- [2]王黎,方涵,黄坤兰,王杰,吴守宝.电磁耦合处理对硬质合金刀具切削力的影响研究[J].工具技术,2020,54(01):33-36.
- [3]于凯强,郭文亮,贾涛.金属切削刀具结构优化与仿真分析[J].工具技术,2023,51(06):69-72.
- [4]张微.结合实际应用的金属切削刀具基本定义教学设计[J].现代职业教育,2021(25):144.