



# 微量润滑切削技术及其对刀具与机床的要求

涂 杰

(南京化工职业技术学院 机械系,江苏 南京 210048)

**摘 要:**微量润滑切削技术是一种有效的绿色制造技术,文中阐述了微量润滑切削技术的发展现状以及对刀具、润滑方式、机床结构提出新的要求,随着制造业对绿色环保的要求越来越高,微量润滑切削将在制造领域得到越来越广泛的应用。

**关键词:**微量润滑;刀具;机床;切削

中图分类号: TG506

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2012) 01-0086-03

目前在机加工行业中,大部分切削加工都以湿加工为主,主要利用切削液来实现冷却、润滑、排屑、清洗、防锈等功能。但是切削液的供给、保养、处理以及切削液设备的折旧等费用约要占到工件制造成本的14-17%,而且切削液的大量使用,会造成环境污染、破坏生态平衡,同时,切削液受热挥发易形成烟雾和产生异味,特别是极压添加剂所含硫、磷、氯等化学元素在切削过程中形成的物质会引发多种疾病,危害工人健康。如今废料、废水、废气、工人的健康与安全方面的问题被越来越多的得到关注,越来越多的企业开始使用微量润滑切屑技术以提高工艺、保护环境、提升公司形象。

微量润滑切削技术(Minimum Quantity Lubricant 简称 MQL)又称准干式切屑技术,是将压缩气体与极微量润滑液混合汽化后,喷射到加工区,在切削过程中,润滑油的消耗量在6-100mL/h,对刀具和工件之间的加工部位进行有效的润滑,和传统切削相比,微量润滑切削具有以下优点:

1. 采用分解性高的合成脂和油脂作为润滑剂,加工后刀具、工件、切屑仍然保持干燥,不需要废水处理,对人体无危害,对环境无污染。

2. 节约资源,供给的油量在6-100mL/h,为传统湿式方法用量的千分之一左右。

3. 减小“刀具—工件”、“刀具—切屑”的摩擦,抑制温升,防止粘结,延长刀具寿命,提高加工表面质量。

4. 由于使用切削液量为最少,因此系统简单,体积小,易布局。

## 一、微量润滑切削的影响因素

为了充分发挥 MQL 的应用优势,寻求经济、生态和加工性能三方面的应用最佳平衡点,必须全面研究影响 MQL 应用性能的各种因素。MQL 切削加工工艺系统受到大量影响因素的交互作用,工艺模型异常复杂。不同工艺、不同刀具、不同工件材料和不同 MQL 工艺系统设置(包括油雾供给和混合方式、油雾供给方向、喷嘴距离、润滑油性质、润滑油用量、压缩空气压力等)所表现出的切削加工性能有非常明显的差异。表1列举出了 MQL 切削加工性能的主要影响因素以及对应的影响方式与程度。从表中可以看出,对 MQL 切削加工性能影响程度最大的因素为润滑油的化学成分、润滑油用量、压缩空气压力

收稿日期:2011-10-25

作者简介:涂杰(1981-),男,江苏南京人,硕士研究生,南京化工职业技术学院讲师,研究方向:机械工程。

表 1 MQL 切削加工性能的主要影响因素

| 影响因素     | 影响方式        | 影响程度 |
|----------|-------------|------|
| 润滑油化学成分  | 有利,但了解仍不充分  | ++++ |
| 润滑油用量提高  | 与具体数值和气压有关  | ++++ |
| 气压提高     | 有利          | ++++ |
| 工件硬度提高   | 不利          | ++++ |
| 油雾喷射距离增加 | 不利,与具体数值有关  | ++   |
| 刀具材料硬度增加 | 有利          | ++   |
| 耐高温刀具材料  | 有利          | ++   |
| 耐高温刀具涂层  | 有利          | ++   |
| 润滑油粘度提高  | 有利          | ++   |
| 切削速度提高   | 不利,与润滑油用量有关 | ++   |
| 油雾供给方向   | 与具体方向有关     | ++   |

以及工件材料的硬度。具体影响在这里不做详细介绍。

由此可见,MQL 工艺系统对切削加工性能的影响最大,其次是加工条件,如工件材料、刀具系统以及切削参数等。

## 二、微量润滑的润滑方式

微量润滑技术主要包括气雾外部润滑(图 1)和气雾内部冷却(图 2)两种方式:

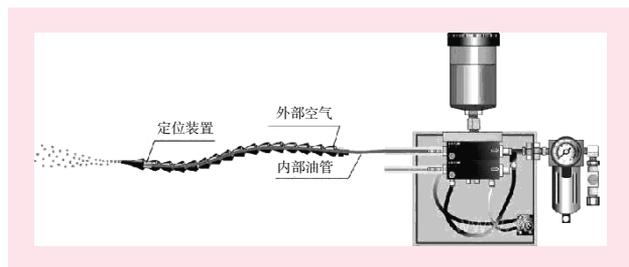


图 1 气雾外部润滑



图 2 气雾内冷却

### (一)气雾外部润滑方式

将切削液送入高压喷射系统并与气体混合雾化,然后通过一个或多头喷嘴将雾滴尺寸达毫、微米级的气雾喷射到加工刀具表面,对刀具进行冷却和润滑。

### (二)气雾内冷却方式

通过主轴和刀具中的孔道直接将冷却气雾送至切削区域,进行冷却和润滑。

内部润滑系统通过主轴和刀具内部通道供给润滑剂,可以直接到达加工区域,润滑充分,一般效果会好于外部润滑。但内部润滑系统也有缺点:使机床主轴和工具系统的结构变得复杂,甚至会影响整台机床的工作性能;当主轴转速过高时受离心力作用影响,切削液易粘附在主轴和工具的内孔壁,不易达到切削区;加工过程中切屑易堵塞喷口,严重影响润滑效果,内部润滑系统需重点考虑雾粒生成装置,生成雾粒的直径必须足够小,才能避免惯性及重力的影响,使雾粒保持悬浮状态,从而顺利通过内部通道。根据加工需要,可将两种润滑方式配合使用,以获得最佳冷却润滑效果。

从喷嘴喷出的冷却液成雾状,其中大部分喷到切削区,一小部分弥散在空气中,为了尽量减小对环境 and 人体的影响,MQL 中使用的润滑油,不能再采用那些含有大量有毒添加剂成分的传统切削液,作为 MQL 切削加工用切削液,其绿色润滑剂的基础油有合成酯、植物性切削油、聚 $\alpha$ -烯烃(PAO)和聚乙二醇等。而常采用生物降解性高的合成酯和油脂。虽然植物油也具有很好的生物降解性,但其在高的切削温度下,在工件、刀具上有树脂化的趋势,切削性能也不理想,因此基本不使用。此外,润滑油雾中油滴颗粒的大小和聚集度对加工区刀具和工件接触表面的润滑效果有影响。油滴大小的影响因素一般包括压缩空气的压力、润滑油用量和喷嘴距离。在同等气压下,随着润滑油用量和喷嘴距离的增加,油滴变大,速度减小。在润滑油用量相等时,随着气压的增大,液滴变小,速度增大。因此,颗粒较大的油滴速度低,在传输中由于自身重力更容易发生偏离,导致加工区不能充分供油,影响润滑效果,通常油滴的粒径一般控制在  $2\mu\text{m}$  以下。油滴颗粒的聚集度主要依赖于润滑油的用量和性质、压缩空气的用量,以及喷嘴的结构。大多数情况下,生物降解性高的合成酯和油脂 21 天内即被分解,这样就避免环境污染及对操作者造成伤害。

## 三、微量润滑切削中刀具设计必须考虑因素

### (一)几何形状

热效应是 MQL 基本问题,刀具设计时要考虑使得刚开始加工产生热的可能性要小,因此必须切削力小,摩擦小。深孔加工刀具附加问题是很难将切屑排出,因此刀具设计必须保证有好的切屑排出效应,在很小的加工力情况下,设计原则为,大前角和大圆度切削角。

### (二)刀具要求

微量润滑的切削过程中, 润滑剂吸收的热量很少, 多数热量一部分被切屑带走, 一部分被刀具吸收, 所以对刀具的性能提出了更高的要求。首先, 刀具应有优异的耐高温性能, 因此需要新型的刀具材料或刀具热防护硬表面涂层。其次, 切屑和刀具之间的摩擦系数要小, 最好是在刀具硬涂层的顶面有一层润滑膜, 以减少刃口产生积屑瘤。最后, 由于加工刀具切削刃承受极大的机械应力和热应力, 因此对刃口硬度、抗冲击韧性要求更高, 刀具几何参数及切削用量的选取要合理, 并有利于迅速排屑, 减少热量堆积。

### (三) 涂层

现今, 切削加工可以不采用切削液的原因之一是涂层, 它通过抑制从切削区到刀片的热传导来降低温度冲击。因此刀具材料可通过涂层处理, 实现“固体润滑”减少摩擦和粘接, 刀具吸收热量较少, 能承受较高的切削温度, 涂层在切削加工中有几种功能: 将刀具和切削材料隔离, 减少摩擦、隔热。涂层在刀具性能方面起着重要作用。TiAlN 涂层有很好耐热性能和高温性能, 它与 TiN, TiCN 相比, 由于添加了 Al, 从而使刀具的抗氧化性能得到极大改善, 非常适用于高速和准干式切削。

### 四、微量润滑切削对机床结构的要求

除了采取新的机加工技术, 刀具和一些附加设备的改进也要考虑到。微量润滑的冷却效果一般不理想, 加工区域产生的高温引起了各种负面作用: 高温的切屑对操作者很危险; 工件受温度影响会产生预硬化或变形; 机床、支柱和刀具的受热膨胀会导致结构尺寸发生变化, 影响加工质量。鉴于此, 机床整体应设计成可实现温度补偿的对称结构 (如德国 Hueller Hille 公司制造的 SpechtS00t 型准干式加工

中心, 采用的是完全热对称结构), 也可采用辅助的冷却设备, 如液氮冷却、二氧化碳冷却等方式降低切削区的温度。微量润滑切削后的废屑带有大量热, 机床内一般应设计排出废屑传送带。使用外部润滑系统的机床, 结构易于布置, 安装时应注意不妨碍其它部件的工作。对于内部润滑系统来说, 切削液是以悬浮粒子的形式喷射至加工区域, 而悬浮粒子的自由流动情况是传输性能的关键, 在机床结构设计时应包含主轴至刀具的过渡段, 过渡段路径必须有利于润滑剂流动, 入口处需满足密封效果, 且不能影响主轴旋转的精度, 出口位置需确保润滑剂达到刀具的切削刃。

### 五、结语

微量润滑切削技术是一种有效的绿色制造技术, 文中总结了微量润滑技术的研究现状, 并阐述了微量润滑技术对刀具、润滑、机床结构提出的新要求。这种高效的清洁制造技术未来具有很好的竞争力, 同时也可以提高生产效率, 降低切削力, 延长刀具寿命、降低生产成本、提高加工产品质量等许多优点, 可广泛用于航空、汽车、模具等制造业, 对提高加工技术水平, 推动机械制造技术进步具有深远意义。

#### 参考文献:

- [1] 储开宇. 绿色高速干式切削技术. 科技创新导报, 2010, (3): 64.
- [2] Domnita Fratila. Evaluation of near-dry machining effects on gear milling process efficiency[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, (17): 839-845.
- [3] 刘续超. 高速干式切削滚齿机设计关键技术研究[J]. 工程技术, 2010, (5): 92.

[责任编辑: 詹华西]

## On Advantages of Minimum Quantity Lubricant (MQL) Cutting and Factors to Be Considered During Processing

TU Jie

(Nanjing College of Chemical Technology, Nanjing 210048, China)

**Abstract:** The minimum quantity lubricant cutting is an effective and green manufacturing technology. The paper studies the recent development of MQL technology and finds that as manufacturers are becoming more obliged to environmental protection, new demands have been posed on the tools, lubricant methods and machine tool structures during MQL use. It predicts that in the future the MQL will be widely used.

**Key words:** MQL; tool; machine; tool; cutting