

MQL最小油量润滑加工用 弹性套筒刀柄

Elastic Sleeve Holder for MQL Machining

尚亚(上海)国际贸易公司 章宗城



章宗城

东华大学退休教授,曾长期在国内、日本从事切削机械制造工艺,以及相关摩擦学教学和研究工作,退休后在尚亚(上海)国际贸易公司任切削工具方面高级顾问。

MQL (Minimum Quantity Lubrication) 指以最小的油量润滑刀具进行加工的方式,又称半干式切削或准干式切削。最小油量约为 3 ~ 30mL/h,按照工件几何形状大小和加工要求的不同而存在差异。对发动机,则每个动力部件所需消耗的润滑油约为 5 ~ 15mL。实际加工时,这些润滑油和压缩空气一起雾化,喷射

在具体使用 MQL 时,国内外许多人在继续研究用什么润滑液和何种状态的压缩空气。用作切削的 MQL 润滑液要具有良好的切削性能和生态性能。所谓切削性能是指润滑性好,摩擦系数低,加工表面质量好,切削效率高,而生态性能则是指生物降解性、氧化安定性和存储稳定性好。一般选择植物油和合成酯。其中,合成酯中多元醇酯较好。压缩空气除用一般空气外,还有冷风。另外,氮气的效果会更好,但成本会提高,在必要条件下可选用。

到刀具加工部位,从而达到冷却润滑目的。润滑是为减少切削力,抑制发热,通过最少量的油雾来完成。冷却和切屑排出是靠喷射的压缩空气与刀具结构的功能来完成的。

MQL 的优点包括以下方面:

(1) 保护环境。因为油量极少,不会产生大量的使用过的不洁润滑油、切削液废油及废液,不会造成环境污染。

(2) 清洁环境。使用油量少,漏油更少,故易保持机床和工厂的清洁。

(3) 减少加工成本。用油量少,油液浓度管理和废液处理费用也节

省了,以往机械加工生产线所消费电力中的很大一部分为冷却液泵和油泵所使用。

以上这些总共约占加工成本的 20%,而刀具费用一般仅占加工成本的 4% 左右。

据美国福特汽车公司动力总成加工技术专家 Alexander Stoll 称,每年福特公司花费在切削液及过滤、日常防菌处理、废弃物处置和能量消耗(切屑在回收前要清洗烘干)以及相关健康和安全方面的费用要达几百万美元。该公司切削液成本约占每个工件加工成本的 10% ~ 20%,故福特公司正在大力推广应用 MQL

2010 年第 11 期·航空制造技术 55

技术。将储存在罐里的油与压缩空气混合,切削刀具就像 1 个燃油喷射器,混合的油雾就从切削工具的顶端油孔或同时从它的周边喷出,直至加工部位而达到冷却润滑效果。用 MQL 加工产生的切屑非常干净,也很干燥,可以直接送到铸造厂,无须进行清洗干燥。福特公司已建立了几条加工变速器零件用 MQL 技术的生产线。其环境非常干净,工人下班后身上不带切削液气味。福特亦制定了长期的战略,计划在其全球加工工厂中采用 MQL 技术。其实在其他大汽车公司,如梅塞德斯-奔驰、通用和大众等都采用并正推广这项技术。

MQL 技术应用原理

MQL 技术的具体执行部件是刀柄中的弹性套筒。日本 NT 刀柄公司的 FDC-MS 弹簧套筒很好地发挥了 MQL 技术(图 1)。将各种不同尺寸的弹簧套筒放入刀柄中以夹持不同尺寸的刀具。此套筒上有 12 条切缝,油雾经短切缝形成的油路,再经过 6 个油雾喷射口沿刀具圆周面喷出,还有利于润滑钻头和立铣刀等的圆周刃,并沿排屑槽润滑前刀面。这样可抑制刀具发热,使切屑不粘结在刀具上而顺利排出,同时也延长了刀具使用寿命。经刀具中油孔喷出的油雾润滑并冷却切削刀具前端刀刃,使刀具较长期地维持高硬度和锋利性。

MQL 的油雾生成装置应保证油雾生成所需要的空气流量,空气不足时油雾无法生成。油雾粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的微小油雾称干雾,它会浮游在空气中,比较难受到离心力影响,可运送性能高,是适合运送的油雾,但碰到刀具与工件后易反弹,不能发挥润滑作用而会扩散到空气中。干雾通过 6 个油雾通路,但由于通路面积减少,空气流速加快,粒子碰撞加剧使粒子变大。将油雾粒径大于

$2\mu\text{m}$ 的大粒子油雾称作湿雾。由于直径大和自身的粘性,湿雾容易附着在刀具与工件上,而且易受离心力影响,容易滞留在管壁和刀柄内,因此不宣传送。NT 公司的 FDC-MS 半干式加工用弹性套筒内油雾喷射的效果示意图见图 2。MQL 作用于切削部分的示意图见图 3。

夹持刀具的弹簧套筒除上述可用 MQL 微量润滑外,通常用的弹簧套筒只能通过刀具内油孔提供冷却润滑液。这种套筒在 NT 公司称 OH 型套筒(还有更老式只可夹持外冷刀具的)。

用套筒刀柄夹持钻头进行钻孔时,钻头受到工件材料的变形(弹性与塑性)抗力以及钻头主刀刃、横刃、圆周刃带与工件孔壁、底部和切屑间的摩擦力。和车削时一样,钻头每个切削刃都受到分解为切向、径向、轴向 3 个分力的作用。在理想的情况下,径向的各分力基本上实现了平衡。其余各力则合并成为轴向力和



图1 FDC-MS弹簧套筒及其工作过程

圆周方向的切向力。圆周方向切向力相对于钻头回转中心构成切削力矩(或称扭矩)。轴向力影响钻头是否容易钻入和钻削时的稳定性。切削力矩的大小主要影响功率能量消耗的多少。

对刀具中心可通微量润滑油的 OH 型套筒与刀具中心和周边都能通微量润滑油的 MS 型套筒,通过试验比较它们在钻孔时的轴向力及切削力矩。

在同一条件下,只在中孔喷射 MQL 润滑的 OH 型套筒轴向力开始为 800N,切削力矩为 $2 \sim 3 (\text{N}\cdot\text{m})$,钻至 $70 \sim 80\text{mm}$ 深时,因切屑堵塞,轴向力增至 1000N,切削力矩增至 $5 \sim 7 (\text{N}\cdot\text{m})$ 。若使用中孔与周边都

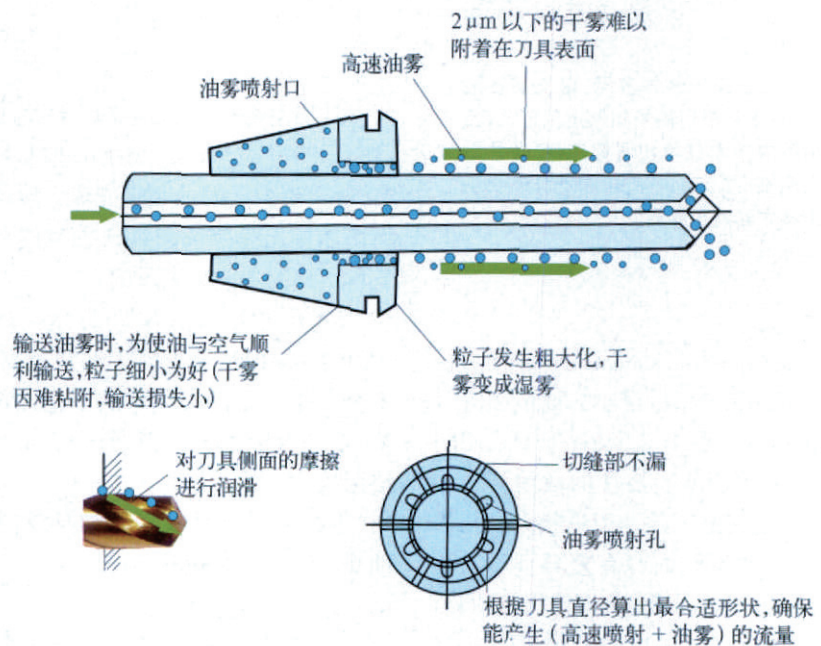


图2 FDC-MS采用MQL方法的冷却润滑示意图

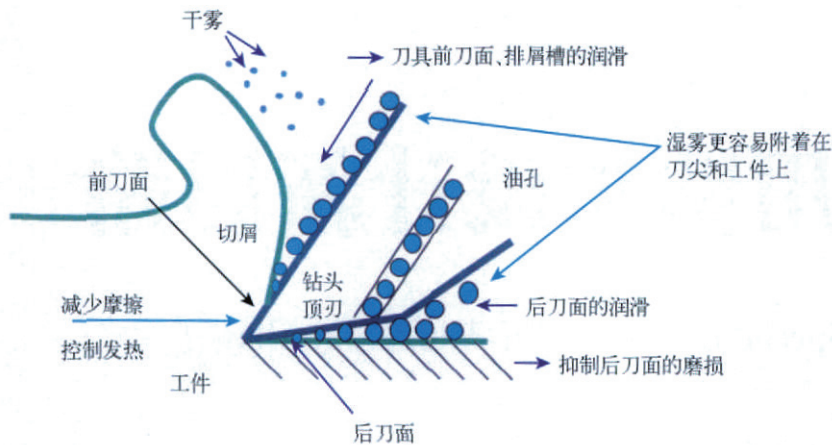


图3 MQL作用于切削部分的示意图

能喷射 MQL 润滑的 MS 套筒,其轴向力始终稳定在 800N 上下,切削力矩稳定在 2 ~ 3 (N·m),钻至 70 ~ 80mm 时二者未发生大的变化。若用普通的套筒,不能环保节能,即使中孔喷射大量冷却润滑液,轴向力也达 800N,切削力矩虽稳定但达 3 (N·m)。可见,用 MS 型套筒时切削力矩甚至比充分使用大量冷却润滑液的套筒还低。

NT 公司对油雾喷量进行最佳计算后设计沟槽形状,能将最少的油量切实地供给给切削部位。无论是带油孔的刀具还是不带油孔的刀具,都可以用同一套筒。无油孔的刀具只在外周喷射润滑油。

NT 公司的 FDC-MS 套筒由于短切缝结构合理,密封功能完美。经过精密计算设计制造了最适油雾喷射口,并申请了专利。

使用 MS 型套筒切削力矩小的



图4 旁路供油冷却刀柄

原因在于夹持刀柄的 6 个油雾喷口从加工开始到结束一直对刀具外周刃与排屑槽进行润滑和补充润滑。由于排屑较畅,噪声较小,力和功耗耗少,刀具加工寿命长。

对 NT 公司的内冷却刀柄,润滑油一直通过中心即通过主轴中心、有孔拉钉中孔、刀柄中孔和刀具中孔,称中心供油式。当用无中孔拉钉时,润滑油经刀柄法兰,刀柄中孔,刀具中孔称法兰供油式。旁路供油指利用机床外的油泵装置,通过专用的旁路刀柄供油冷却。此专用刀柄通过定位块固定圆周方向位置,保证稳定供油。这类刀柄旋转部分的 MQL 流经路途最短。NT 公司 MQL 旁路冷却刀柄与供油装置见图 4。

MQL 冷却润滑加工的实际应用

MQL 冷却润滑加工示例如下。

(1) 中心供油。刀柄为 BT50-HDC07-90,弹性套筒夹头为 FDC-04007-MSAA,工件材料为铬钼钢 SCM415,钻头为三菱 WSTAR 超大型 D4×150×D4。切削速度 $V=80\text{m/min}$,进给速度 $F=955\text{mm/min}$;加工深度为 77mm。一次进给润滑油为 ECOMIST 机械加工用纯正植物油。刀尖喷射量 29mL/h,加工效率高。加工后,孔壁表面光洁。

(2) 中心供油深孔加工。刀柄为 BT30-HDZ09-75,弹性套筒夹头为 FDC-05009-MS,淬硬工件材料为 SCM440 HRc40。钻头为三菱硬质合金中心供油钻头($\phi 5 \times 180\text{mm}$,刃长 130mm),MQL 润滑(油 0.5mL/min,水 5 ~ 10mL/min)。切削速度 $V=80\text{m/min}$ 。进给量 $F=504\text{mm/min}$,钻孔深度为 100mm。连续进给完成加工,每 12s 可钻 1 孔,切屑碎小,孔壁光洁,效率高。

(3) 旁路供油铝合金深孔加工。刀柄为 S/BT40-HDC12-160MS,弹性套筒为 FDC-03012-MS,工件材料为铝合金 A2017,钻头为三菱 MWS0300×20DB($\phi 3$)。切削速度 $V=94\text{m/min}$,进给量 $F=2000\text{mm/min}$ 。钻孔深度为 60mm。1 次进给,用 MQL 润滑方式,冷却润滑液为 150mL/h JOOMCLEAN 油水溶性冷却液)。空气压力为 0.5MPa,不需导孔,加工可 1 次完成。

以上条件加工时,切屑小,排屑顺利。顶刃与外周刃因油雾润滑状态良好,未见铝屑粘附,精加工效果好,孔面光洁。

结束语

可发挥 MQL 效果的 MS 型套筒可装在 NT 公司的多种使用弹簧套筒刀柄上。

在具体使用 MQL 时,国内外许多人在继续研究用什么润滑液和何种状态的压缩空气。用作切削的 MQL 润滑液要具有良好的切削性能和生态性能。所谓切削性能是指润滑性好,摩擦系数低,加工表面质量好,切削效率高,而生态性能则是指生物降解性、氧化安定性和存储稳定性好。一般选择植物油和合成酯。其中,合成酯中多元醇酯较好。压缩空气除用一般空气外,还有冷风。另外,氮气的效果会更好,但成本会提高,在必要条件下可选用。

(责编 良辰)