

刀具

采用内冷刀具提高切削速度

通过采用内冷却方法可以显著提高镗、铣和切槽的加工效率。此类刀具可以把冷却润滑剂尽可能地输送到工件与刀具之间的加工部位。而对 CO₂ 和 N₂ 的使用可以进一步提升生产率。

文 | Bernhard Kuttkat

毫无疑问，在对钛、镍合金和高强度钢以及碳纤维材料（CFK）进行高效切削时，传统的溢流冷却润滑剂往往会遇到其物理极限。带有内冷却功能、可以把冷却润滑剂定向地引向加工部位的刀具对此可以提供帮助。“采用带有现代冷却润滑技术的刀具，可以极大降低生产成本，提高刀具的使用寿命，改善切屑状况并加强切削作业的安全性。”Iscar 公司镗削产品经理 Herbert Volk 认为，带有内冷却的镗刀的加工能力更强，“基本上带有内冷却的镗刀会更受欢迎。”他指出，对于镗孔深度超过大约 2×D 的情况来说，如果采用外部冷却剂导入的话，就无法保证整个加工过程达到足够的冷

却效果。在无内冷却镗削作业中，刀具的使用寿命和加工品质都会明显变差。

“切屑形成区域上的直接冷却，切屑排放的进一步优化和冷却，冲洗能耗的进一步降低，这些都是刀具研发工作的目标所在。”在位于杜塞多夫的 Sandvik Tooling Deutschland 公司负责圆形刀具与卡盘的产品经理 Markus Groppe 博士强调说。与无内冷却功能的镗刀相比，带有内冷却功能镗刀的加工能力取决于很多因素。“很多特定的应用场合只能采取内冷却方式。”Groppe 说道，“而且刀具的使用寿命往往可以提高 300%。当然，这种提高并非零成本。与无内冷却功能的镗刀相比，带有内冷却功能的镗刀价格最多要高出 40%。”

内冷刀具的正面功效

“刀具的内冷却基本上可以把冷却润滑剂尽可能近地引到刀具加工区。”Kennametal Shared Services 公司镗孔和端面铣削产品负责人 Tilo Krieg 博士表示。他列举出一些正面的影响：“另外，从接触区域把热量排放出来，这有利于延长刀具使用寿命、优化切屑排放、改善表面质量并减少对工件表面的影响。”后续研发工作的目标便是要把这些效果应用到其他等级的刀具上。

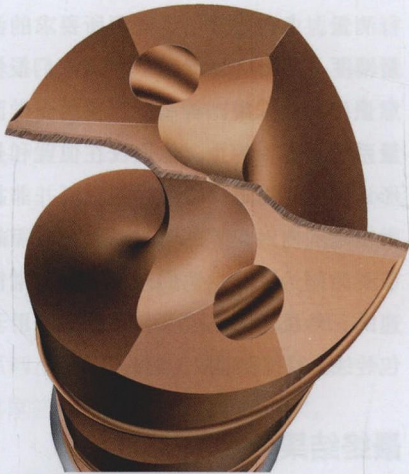


图 2 专为在钢材上快速镗孔而设计：好的切屑通道造型可以优化切屑形状并改善切屑排放过程

当然，在这方面仍然存在着一一些传统的局限性，例如多刃刀具、带有很长圆周刀刃的刀具、复杂的成型刀具和其他一些在直径和结构上使得冷却通路受限的刀具。“在这些方面，我们正在下大力气进行研发。”Krieg 补充说，“当然，可制造性也是我们所关注的一个方面。”

“总的来说，内冷却硬质合金刀具可以达到较高的切削数据。当镗孔深度超过 4×D 时，这种刀具也有助于切屑的排放并实现较长的使用寿命。”Walter 公司的高级产品经理 Helmut Gschrey 如是说。

“内冷却刀具的后续研发主要涉及最优化问题。”Komet 公司负责硬金属与研

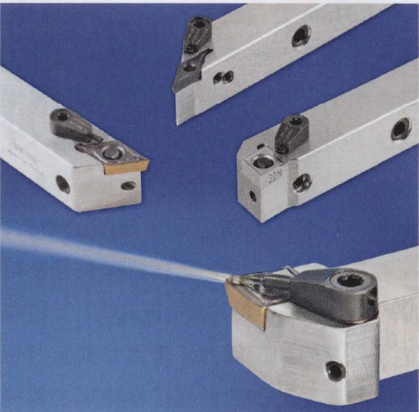


图 1 带有定向冷却功能的 ISO 车削刀具

磨刀具研发的经理 Reinhard Durst 博士解释说,“我们致力于寻找能够达到冷却剂最大传送量的冷却孔径与刀具具备足够的强度之间的最佳匹配。此外,我们还对冷却孔出口的位置(特别是当采用特殊刀具时)和微量润滑刀具的冷却孔截面及出口进行优化。”对于在何种场合使用何种内冷却刀具的问题,Durst 表示,“在金属批量加工场合,几乎只使用内冷却刀具,这是因为唯有通过把冷却剂定向输送到加工位置上并且加强对切屑的排放,才能确保实现较高的切削效率。”在采取微量润滑策略时,则尤为如此。

“对于深镗孔开槽刀具(例如单刃镗刀)来说,内冷却方式是至关重要的,这是因为切屑只有通过冷却剂从镗孔中带出。”TBT 公司镗孔刀具业务部经理 Jürgen Bek 介绍道。在孔深为 $250 \times D$ 以下时,内冷却刀具的工作状态是安全的,“TBT 借助于有限元法来对冷却孔的大小和形状进行优化。”对此,切屑通道在开口角度和形状方面的优化不容忽视。

“实际工作表明,内冷却刀具一方面能够为用户带来经济效益,另一方面也可以极大改善加工作业的安全性。”Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn 公司研发部经理 Matthias Luik 博士指出,“在切槽口时,采用传统冷却方式的冷却剂往往无法到达刀刃的位置,而采用内冷却方式则可达到最佳效果,并使刀刃的寿命提高 6 倍。在深部镂空和外冷却剂无法达到的场合,内冷却铣刀则可以充分发挥出其优势,这是

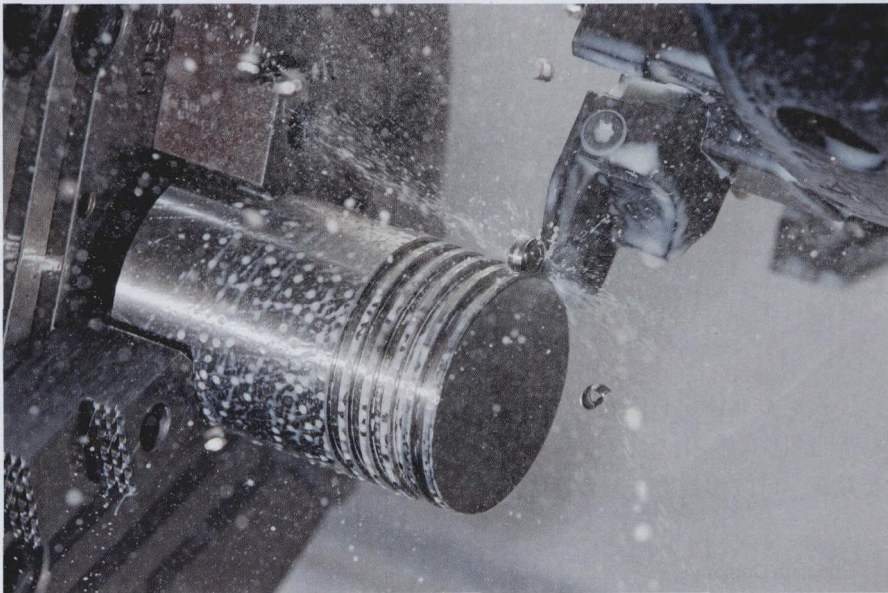


图 4 在开槽口时,采用传统冷却方式无法触及刀刃位置,而采用内冷却方式则可达到最佳效果,并使刀刃的寿命提高 6 倍

因为铣刀往往受到工件的遮挡。由于这种情况在模具制造中经常出现,因此此类场合均采用内冷却铣刀作为技术标配。”

Jakob Lach 公司与 Audi 公司的合作研发工作推进了铝材切削技术能力:一种带有切屑引导功能的内冷却整体 PKD 铣刀。“把通过 PKD 切屑面所引导的冷却液流与切屑排放功能集合在一个刀具上的技术方案,对于加工作业来说是最理想的。”总经理 Horst Lach 说,尤其在 HSC 铝材切割加工上,可以实现用户希望达到的极高的切削速度和进给量,“不仅如此,冷却剂导入整体铣刀可以携带多套 PKD 刀片,因为在切削作业中所产生的切屑可从加工区域里被即刻排走。”总之,通过在汽车制造业上(例如针对发动机和减速箱外壳的加工)采用新开发的 PKD 整体铣刀,加工循环时间已经下降 50% 以上。

在设备上需要满足的条件

在设备方面必须满足的若干前提条件:内冷却至少必须具备 15 bar (最佳为 50 bar, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$) 的压力,以输送冷却润滑乳化液、油、MMS、空气或冷却

剂等介质, 15 000~30 000 r/min 之间的高转速和 20 000~40 000 mm/min 的进给量。

高效切割的目标当然尚未达到。采用 CO_2 或 N_2 等冷却剂来取代常规的冷却润滑剂,可以继续提高单位时间切割量并降低刀具的磨损程度。针对镗削作业的内冷却,例如 Chemnitz TU 大学机床和生产工艺学院(IWP)目前就在研究如何采用 CO_2 来实现高效冷却的策略问题,正如切削技术教学和研究系主任 Martin Dix 博士所强调的那样:“在采取这种冷却策略时,针对难切削的金属材料,尤其重要的一点便是要把冷却定位在刀具上并进行优化,以便对刀具重要区域进行冷却。”

低温冷却可以实现无润滑剂的高效镗削作业和较长的刀具使用寿命。为了提高加工效益,需要采取有效的保温措施并对冷却剂液流进行匹配。在刀具上的热量分布方面,冷却通道及其出口的位置非常关键。“这是因为首先工件会得到冷却。”Dix 博士解释说,“因此工件的硬度会上升,由此在大多数应用场合中刀具的切削力和磨损程度都会随之增加。”唯有在加工塑料材料时,同时冷却工件的做法才有意义,这是因为这种做法可以有效提高材料的可切削性。MM



图 3 内冷却方式对刀具的使用寿命、切屑排放和表面质量均产生积极的影响