微量润滑技术跟踪及应用

樊利辉

汇专科技集团股份有限公司　广东广州　510700

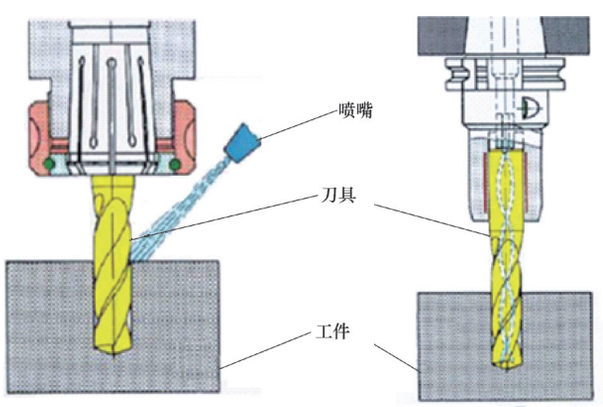
摘要：20世纪90年代中期，微量润滑技术已经在欧洲、日本得到应用，当初微量润滑是解决刀具的寿命问题，由于某些工序用户在使用切削液的过程中刀具的寿命很不理想，换刀次数多，影响加工效率，尤其像曲轴斜油孔的加工中内冷钻头容易堵塞，造成钻头折断，并且在加工过程中不容易发现，工件报废，耽误时间。另外，由于过滤精度要求高，输送切削液的泵的功率大，能耗高等等，而使用微量润滑后，钻头寿命大大提高，能耗大大降低，因此，目前在曲轴斜油孔的加工中微量润滑基本成了标准配置，在其他的工序也越来越多地使用了微量润滑技术。同时微量润滑在环保方面也有很大的优势，因此，微量润滑技术会越来越得到更多的厂家青睐。

关键词：微量润滑；机床改造；切屑

微量润滑技术介绍

微量润滑MQL是英文Minimum Quantity Lubrication的缩写，是使压缩空气和特种润滑油进行混合，达到切削刀具加工的表面，对刀具进行润滑和冷却的完整系统。按照油气是否通过刀具内部冷却通道可分为内置式系统和外置式系统（见图1）。

按照油与压缩空气是否沿着一个通道进行输送可分为单通道系统和双通道系统（见图2）。单通道系统油雾在发生器内产生，双通道系统的油和压缩空气在喷嘴或者刀柄处混合。



（a）外置式　　（b）内置式

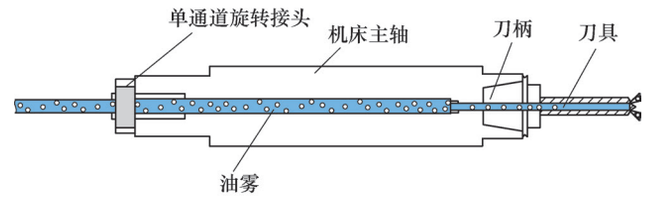
图1　微量润滑系统分类一

1.微量润滑系统与其他系统的配合使用

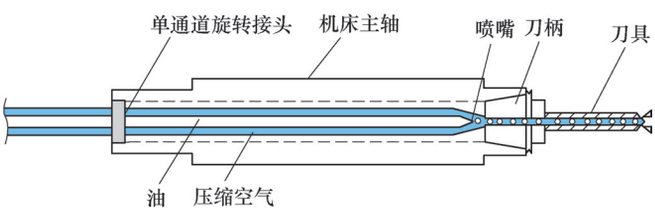
1）微量润滑系统与超临界CO_2系统的结合。

2）微量润滑系统与低温冷风系统的结合。

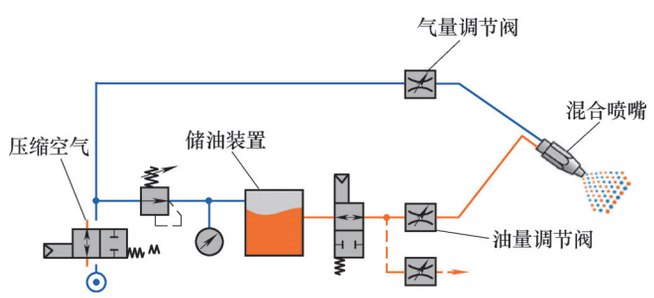
3）微量润滑系统与水雾系统的结合，形成水、



a）单通道系统



b）内置式双通道系统



c） 外置式双通道系统

图2 微量润滑系统分类二

气、油三相的油水复合。

由于液氮系统喷射出来的温度很低，微量润滑油在这种超低温的条件下会凝结，因此，微量润滑系统一般不会与液氮系统一起使用。

2.微量润滑的发展

微量润滑技术与绿色加工技术的发展状况如图3所示。微量润滑整个系统配套产品的选择，在使用微量润滑技术时要选用合适的主轴选择接头、合适的主轴结构、合适的刀柄形式、合适的刀具，也要选择环保的、具备使用微量润滑条件的微量润滑油品。

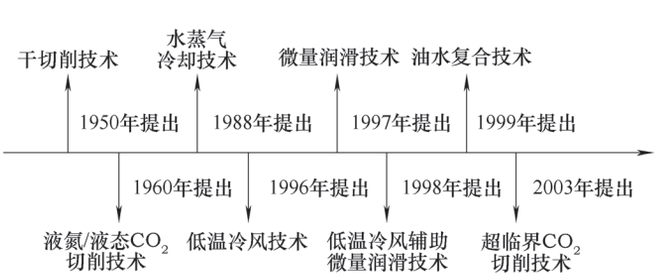


图3 微量润滑技术发展状况

3.微量润滑的优势

从微量润滑与传统切削液润滑的对比表中（见表1），可以看出微量润滑所具有的优势，因此国内的厂家也逐步了解和接受微量润滑技术。

表1 微量润滑与传统切削液润滑的对比表

对比事项	传统切削液润滑	微量润滑
成分	成分复杂，易对人和环境造成损害	环保型微量润滑油，对人和环境无害
管理	日常管理麻烦，增加成本（检测、清洗及更换）	管理简单
能耗	整个系统运行能耗高，造成成本增加	能耗很低
废液	废液处理困难，处理成本高	无废液，不需处理
加工效果	加工效率低，反复使用，影响加工效果	新鲜的润滑剂，有利于提高润滑效果
刀具寿命	更大温差所产生的更强淬火反应，会更降低刀具寿命	有效地润滑工件和刀具表面，避免了淬火同时提高切削速度与刀具寿命
加工效率	加工速度不易提高，加工效率较低	提高切削速度，获得较高效率
流失	用量大，蒸发，被工件切屑带走多，流失高，成本增加	精确控制，流失很少
机床防水	时间久了，pH值降低，腐蚀机床，破坏防水，造成安全隐患	无此问题
切屑	切屑里有很多切削液，处理成本增加	干燥更容易处理，符合环保要求并节省处理费用
设备占地面积	占地面积大	占地面积很小可集成到机床里面
冲屑效果	好	较差（可加风扇吹屑）
散热效果	很好	一般（如有必要，加温控装置）

国内微量润滑技术现状

1.微量润滑的的行业状况

在2000年或者更早的时候，有些微量润滑系统随国外的机床一起进入了中国的工厂，但由于微量润滑的集成度很高，并没有引起机床使用者的注意，他们只要在某个容器里加油就可以，并且还有机床控制系统的提示，过程简单方便。而那时候的国内锯切加工中早就使用压缩空气把水、切削液或者油吹到锯片（锯条）上，实现冷却和润滑，这是最简单的外置式微量润滑的应用形式。期间国内也有一些集中润滑的生产厂家提供一些简单的微量润滑系统，但由于推广力度和产品本身的局限性，这些品牌的微量润滑系统

的市场占有率很小。

而国内的大学及科研机构也对微量润滑技术进行了研究，并在实验室里进行了不同工艺如钻、铣、铰及攻丝等工序，不同材料如铝合金、钢、不锈钢及钛合金等的实验，并且得出了微量润滑技术可适用于很多材料及工艺的结论，并且证明了其实用性及优越性。

从目前国内微量润滑的行业分布看，高档的微量润滑系统，是内置式系统，如双通道系统，高档的智能型单通道系统（有约30个油量选择），都分布在汽车制造领域，主要是这个领域智能化程度高，效率要求高，精度要求高，如上汽大众、一汽-大众、长安福特、北京奔驰、北汽福田、北京现代、长城汽车和吉利汽车都在使用双通道系统或者高档智能型微量润滑系统，但这些微量润滑系统基本全是进口的品牌。而低端的系统是外置式系统，主要是应用在锯切领域，如钢厂有缝钢管、无缝钢管及棒料的锯切，还有铝型材加工厂，如铝型材及棒料的锯切。在航空航天及军工领域，使用微量润滑系统也主要是外置式为主，在模具、医疗及3C行业，微量润滑液得到了应用，也是外置式居多。

总的来说，汽车及相关行业应用微量润滑技术比其他行业多，同时也代表微量润滑技术的发展方向，哪个品牌在这个领域市场份额大，就说明哪个品牌技术实力强。尽管进口品牌的技术水平高，但还没有任何一家一统天下，只是分别在占有一定的市场份额。

2.微量润滑的品牌状况

在国内的微量润滑市场里，进口品牌中德国的品牌使用广泛，不少于三个品牌的微量润滑系统在汽车等其他领域被使用，德国品牌的共同特点是质量过硬，技术先进，价格也相对较高，配套在GROB、MAG、HELLER及TBT等机床上，随这些机床进入中国市场，为各个领域服务。日本的微量润滑系统在国内也有一些份额，也是与机床一起进入中国市场的。其中有自己为机床配套的双通道系统，不对外销售这个双通道系统。日本的单通道系统配套基本也是配套在自己的机床上，相对德国品牌的价格，日本的微量润滑系统有些优势。韩国的微量润滑系统在国内见到的只有一两个品牌，在国内汽车主机厂很难见到。其他的以外置式为主要功能的进口品牌有不少，主要集中在锯切这个领域，由于这个领域油的用量较大，因此润滑设备不是竞争的重点，油品才是。

国内微量润滑产品（主要指内置式系统）的厂家不多，尤其是产品系列齐全的内置式系统更少，基本都是与大专院校合作开发，走的是先模仿再创新的路子。配套给机床厂的不多，主要都是以改造为主，给汽车主机厂配套的不多，服务于相关行业的较多，同时也大量进军锯切领域。

从技术层面上看，无论进口的还是国产的内置式单通道系统，采用的发生原理都是文丘里原理，而外置式系统基本都是用电磁脉冲阀和气动脉冲阀这样的发生形式。内置式双通道系统，国内还没有研发生产出来，也由于专利方面的原因，还有待时日。

3.微量润滑系统的市场份额

据了解，国内机床的保有量超过1000万台，并且每年还会以50万台的速度在增加，尽管目前机加工的形势大不如以前，但总量还在增加，新机床的配套以及老机床的改造，微量润滑使用的数量超过了5%，但没有达到10%，这个数字在慢慢增加，因此，这个市场仍有很大潜力。

微量润滑推广的难度

1.传统观念的的束缚

从1775年英国的约翰·威尔金森（J．Wilkinson）为了加工瓦特蒸汽机的气缸而研制成功镗床开始，伴随出现了水和油在金属切削加工中的应用。到1860年经历了漫长发展后，车、铣、刨、磨、齿轮加工和螺纹加工等各种机床相继出现，也标志着切削液开始较大规模的应用。漫长的时光里，工厂使用切削液已经轻车熟路了，机床的设计者也适应了配套切削液系统的机床，并没有对微量润滑技术进行深入的的研究，主观认为少量的油和压缩空气混合的冷却润滑方式会影响加工效果，对微量润滑技术心存疑虑。

2.特殊的机床结构

微量润滑机床设计与传统机床设计有诸多的不同，有一定难度。机床的结构上要考虑如何更好地落

屑和排屑，考虑如何排走机床内部的热量，如何清除油雾，在主轴、旋转接头、刀柄及刀具的选择上要满足微量润滑要求等，对于机床设计者来说，如果没有最终用户的要求，他们更愿意选择熟悉的传统冷却方式的机床设计。

3.传统机床改造有些麻烦

机床由传统切削液系统改造成微量润滑系统时需要解决的问题多，用户怕麻烦。作为完整的微量润滑系统包含以下七个方面（见图4）。

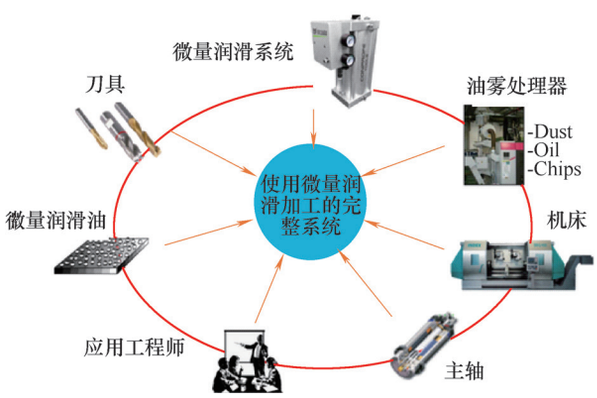


图4　微量润滑系统

改造过程中除了要选择适合的微量润滑系统外，还要选择合适的刀具、刀柄及考虑主轴及旋转接头是否适合（这里讨论的是内置式系统）。目前国内使用BT刀柄，并且主轴不带内冷通道的机床所占比例较大，改造起来要动的地方多。另外即使机床主轴有内冷通道、旋转接头适合，但整个刀库中有几个刀具（如，钻头）尺寸很小，没有内冷通道，即使有，尺寸在0.3mm之下，普通微量润滑难以实现理想效果，在3C和电子行业有很多这样的案例。另外的情况，刀具的尺寸太大，如大的盘铣刀和镗孔刀，如果做成微量润滑的刀具，成本会增加不少。在一台机床上有极限刀具使用时，给微量润滑的使用带来困难。大型龙门或者落地镗机床上使用切削液会很麻烦，使用微量润滑是好的选择，但由于机床是开放的，油雾的吸收处理需要找的合适的解决方案。除了上述的要求，油品的选择也很关键，这里不再详述了。

4.微量润滑本身也有不完美的地方

从前面的的传统切削液与微量润滑对比的表格可以看出，微量润滑在带走热量和排屑方面明显不如切削液，这就是任何技术都有它的局限性。大流量的切削液不断地对夹具、工作台以及其他接触部位进行冲刷，带走加工过程中所产生的切削热，使机床、工作台及机床内部保持较低的温度，在冲刷的同时把切屑带走。而微量润滑在使用过程中由于油雾带走的热量较切削液则少得多。另外由于有时会有热切屑的堆积，造成机床内部夹具工作台有一定的温升，因此要求微量润滑机床必须配置油雾处理器，它的作用一方面吸走多余的油雾，一方面使空气流动加快，有利于内部热量的排出，对环境温度要求高的时候，为了精准监控，还会加装温控装置。

解决方案

尽管如此，对比传统润滑来说，微量润滑所具有的优势仍然推动着机加技术的进步。微量润滑都有哪些解决方案呢？

1.机床的设计

如果机床在设计之初就想使用微量润滑系统，那就要处理好以下几个问题：

1）确定主轴形式，无论是HSK的，还是BT的（见图5），都要解决刀柄与拉刀机构之间的空间问题，当然HSK的主轴更简单方便（见图6），目前市场上的这

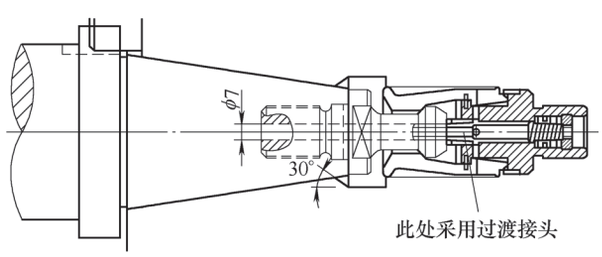


图5　BT主轴刀柄的解决方案

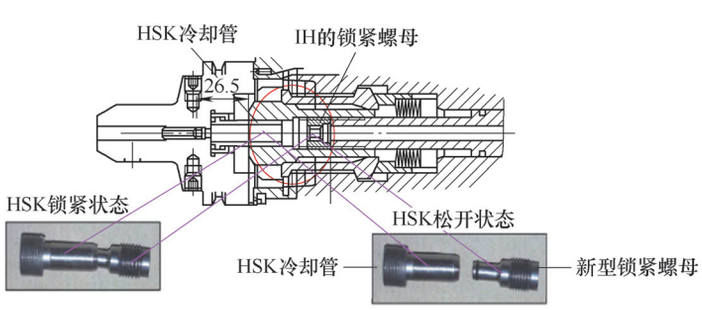


图6　HSK主轴刀柄的解决方案

样的主轴有不少厂家可以提供。

2）寻找合适的旋转接头，目前适合微量润滑的旋转接头很容易找到。

3）寻找合适的刀具刀柄，适合微量润滑的刀柄尤其是HSK的很容易找到，BT的会有些难度。

4）如果使用微量润滑系统，需要安装油雾处理器。

5）微量润滑系统要与机床的控制系统进行通信，实现机床控制系统对微量润滑系统的精准控制。

2.机床改造使用微量润滑系统

1）HSK主轴的加工中心，如果机床主轴有内冷通道，旋转接头适合，刀具是内冷刀具，就基本满足微量润滑系统的要求，可以直接选择合适的内置系统，与机床联动；如没有油雾处理系统，加装一个即可，BT主轴的也类似。

2）无论是HSK主轴，还是BT主轴，或者旋转接头不适合微量润滑系统的要求，刀具也很小，在这种情况下，可以使用环形喷嘴来满足要求（见图7），使用环形喷嘴不但能适应刀具的直径变化，也能适应刀具的长短变化。

3）如果机床的主轴、刀柄等都不适合微量润滑，但刀具是内冷刀具，并且刀具的直径在5mm以上，这时可以用外转内刀柄来实现微量润滑（见图8、图9）。

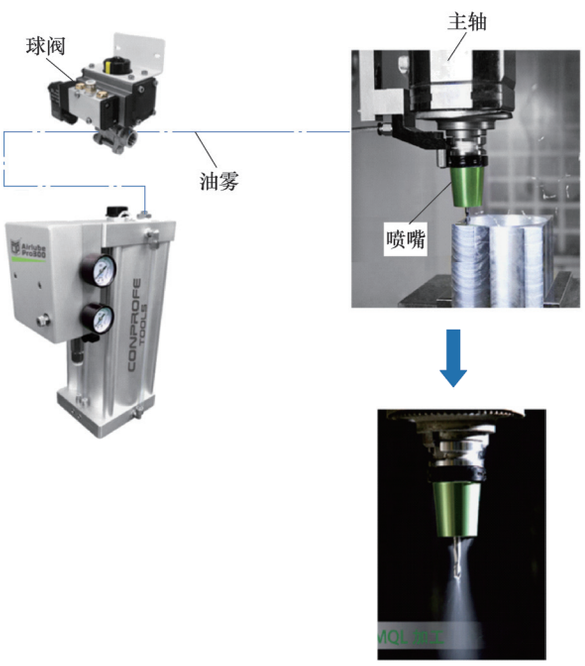


图7　环形喷嘴解决方案示意

4）在实际的改造中还会遇到机床都满足内置式系统的要求，但只有1把小钻头没有内冷通道，无法完全实现内置式的要求，此时，可以进行内置与外置的转换来实现，机床的控制系统对内外置的工作进行控制，如图10所示。

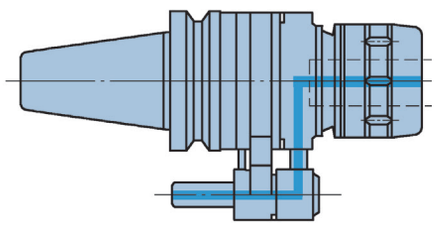


图8 外转内刀柄

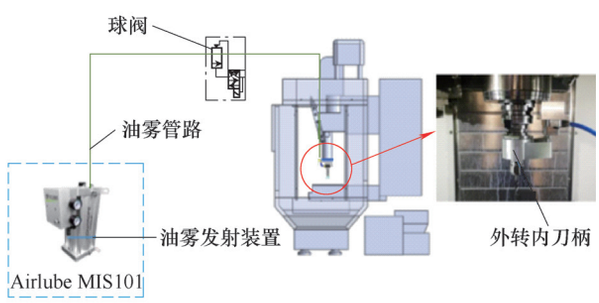


图9　外转内刀柄解决方案示意

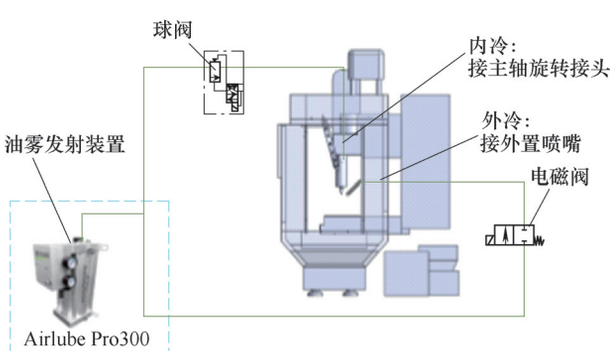


图10　内外置转换微量润滑系统示意

3.切屑的处理

在微量润滑的使用中切屑的处理至关重要，在一些工序上加风扇吹扫，方便快捷。在切屑的处理上国外用户进行了总结（见表2），我们可以借鉴。

（下转第27页）

上分析了非金属内胆起泡与屈曲现象，从材料级别指出了非金属内胆选型的关键参数。并从气瓶的整体结构出发，研究了非金属内胆典型成形工艺与关键的非金属内胆与阀座连接技术以及复合材料层关键成形技术研究，与为后续的研发提供了一定的支撑。

参考文献：

[1] 杨文刚，李文斌，林松，等．碳纤维缠绕复合材料储氢气瓶的研制与应用进展［J］．玻璃钢/复合材料，2015（12）：99-104．

[2] 李璐伶，樊栓狮，陈秋雄，等.储氢技术研究现状及展望[J].储能科学与技术，2018（7）：586-594.

[3] 赫晓东.先进复合材料压力容器[M].北京：科学出版社，2014.

[4] O.Lorgea，B.J.Briscoea. Gas induced damage in poly（vinylidene fluoride）[J].Journal of polymer testing，1999，40：2981-2991.

[5] Julien Jaravel，Sylvie Castagnet. On key parameters influencing cavitation damage upon fast decompression in a hydrogen saturated elastomer[J].Journal of polymer testing，2011，30：811-818.

[6] Julien Pepin. Replication of liner collapse phenomenon observed in hyperbaric type Ⅳ hydrogen storage vessel by explosive decompression experiments[J].Journal of hydrogen energy，2018，43：4671-4680.

[7] Yamabe J，Nishimura. Influence of fillers on hydrogen penetration properties and blister fracture of rubber composites for O-ring exposed to high-pressure hydrogen gas[J].Journal of Hydrogen Energy，2009，34：1977-1989.

[8] Castagnet S，Grandidier J-C，Comyn M，et al. Effect of long-term hydrogen exposure on the mechanical properties of polymers used for pipes and tested in pressurized hydrogen[J]. Journal of Press Vessel Pip，2012，89：203-209.

[9] 汪准，邓京兰，王继辉，等.纤维缠绕复合材料石油套管结构设计与优化[J].玻璃钢/复合材料，2015（2）：5-10.

[10]郑传祥.复合材料压力容器[M].北京：化学工业出版社，2006.

[11]成强.复合材料结构铺层细节设计探讨[J].科技创新与应用，2013（27）：106.

[12]赵娟.双酚A环氧树脂体系主要性能表征技术研究[D].青岛：青岛科技大学，2016.

[13]王晓洁.环氧树脂基体固化研究[J].玻璃钢/复合材料，2001（2）：10-12.

（上接第20页）

表2　带微量润滑系统机床的清理工作安排

机床内部污染物及堆积物的清理	
目的	根据保养和清理周期的要求清理机床内部(金属粉尘和沉积油污)
应用	使用微量润滑的机床
轻度污染	利用生产间隔（更换工艺或其他工序末端）执行 清洁剂：布或刷子 清理工作： 1）清除堆积在水平位置和突出部分的切屑和小金属粉尘； 2）清除机床内壁的湿的残渣和沉积物，让排屑器带走； 3）检查机床的抽取口，清理切屑网（以防阻塞）
中度污染	中断生产来执行 清洁剂：利用低压装备来清理，压力30～70N 清理工作：利用水枪清理机床表面沉积物，如果可能，在水中加一些清洁剂和防腐剂（阅读供应商的信息）
重度污染（顽固的结块的污物）	中断生产来执行 清洁剂：干冰 清理工作：利用压缩空气喷射干冰，干冰颗粒喷射到表面进行清理，逐步把表面易碎的污 物清理掉，用排屑器请走污物 要注意：噪声大，带好耳朵的防护；穿防护服工作；不要在狭小的空间工作以防CO_2堆积

结语

微量润滑作为机加工的辅助技术，虽然不是十全十美的，但这个技术在解决很多机加工问题、提高刀具寿命以及节能环保方面，提供了好的思路，也越来越多地被用户接受。同时微量润滑技术也与超临界二氧化碳、低温冷风结合，进一步拓展了微量润滑的使用范围。