

高效加工，干式加工，绿色制造，节能减排

微量润滑MQL技术的入门和使用

微量润滑技术现状

- ◆ 微量润滑技术已经越来越多地进入到金属切削加工领域，并在很多加工中成为传统湿法加工的取代方法。
- ◆ 微量润滑技术在加工中仅使用数滴润滑油（5-50毫升/小时）
- ◆ 巨大的成本节约潜力导致很多公司几乎全部机械加工都不使用切削液，而初期仅汽车工业采用该技术。
- ◆ 在九十年代初期，最早使用微量润滑技术的是锯和钻，现今使用该技术在自动化、大规模生产线上生产汽缸盖、曲轴箱、凸轮轴和各种各样其它元件，材料包括了钢、铸铁和铝等。

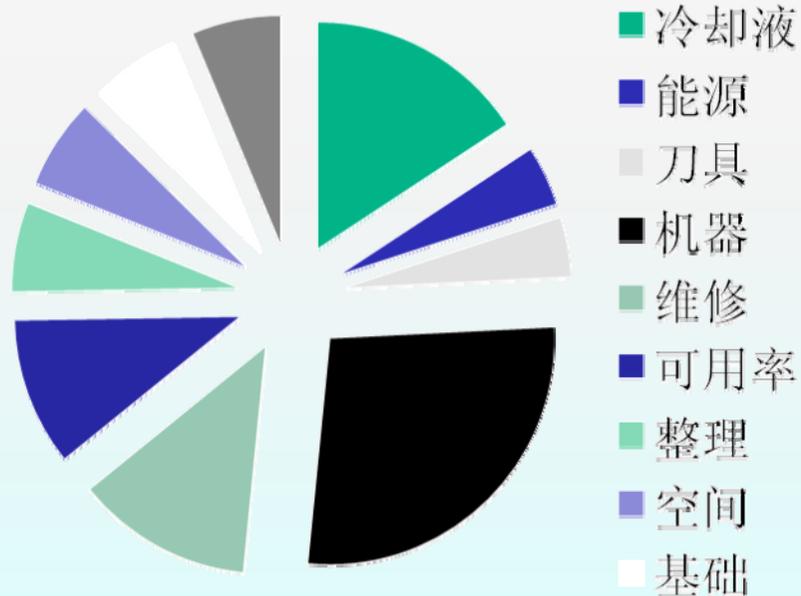
微量润滑技术的优势

- ◆ 新技术的优点是明显的，在职业安全方面，微量润滑比切削液有众多优势，尤其是其对皮肤没有任何影响。
- ◆ 微量润滑是全损耗性润滑，和切削液循环系统不同，这意味着使用的是干净、新鲜的醇类或酯基润滑剂。防污染添加剂就完全不需要，因为真菌和微生物仅在潮湿生长；润滑剂数量的大幅度减少使工件和切屑是干燥的，这极大地减少了由于金属切削液雾化所引起的健康危害，机床内外均没有切削液，工作环境十分干净。

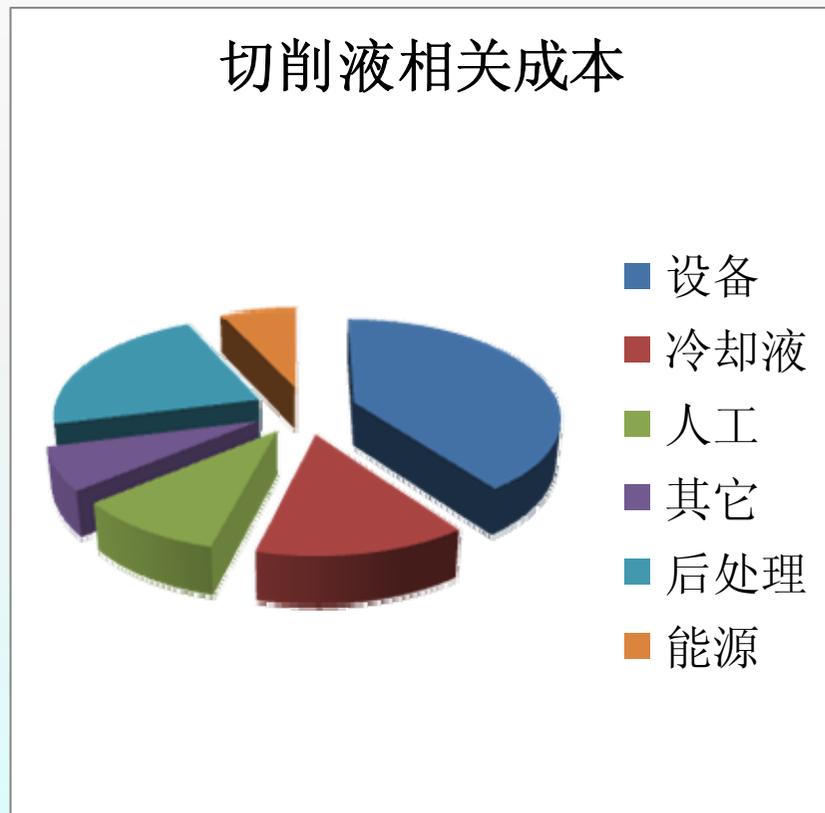
微量润滑技术之机械加工成本、切削液成本

资料来源：美国通用

机械加工成本组成 成本%



冷却液成本组成



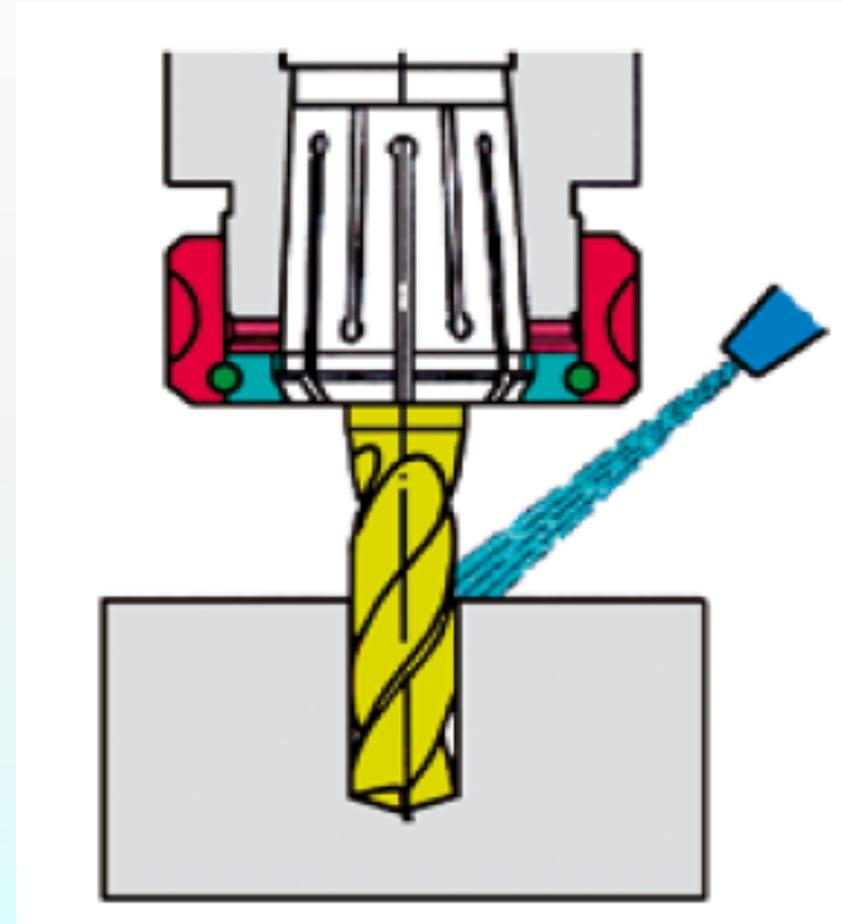
微量润滑技术的优点

问题：微量润滑和传统切削液比较有哪些优点？

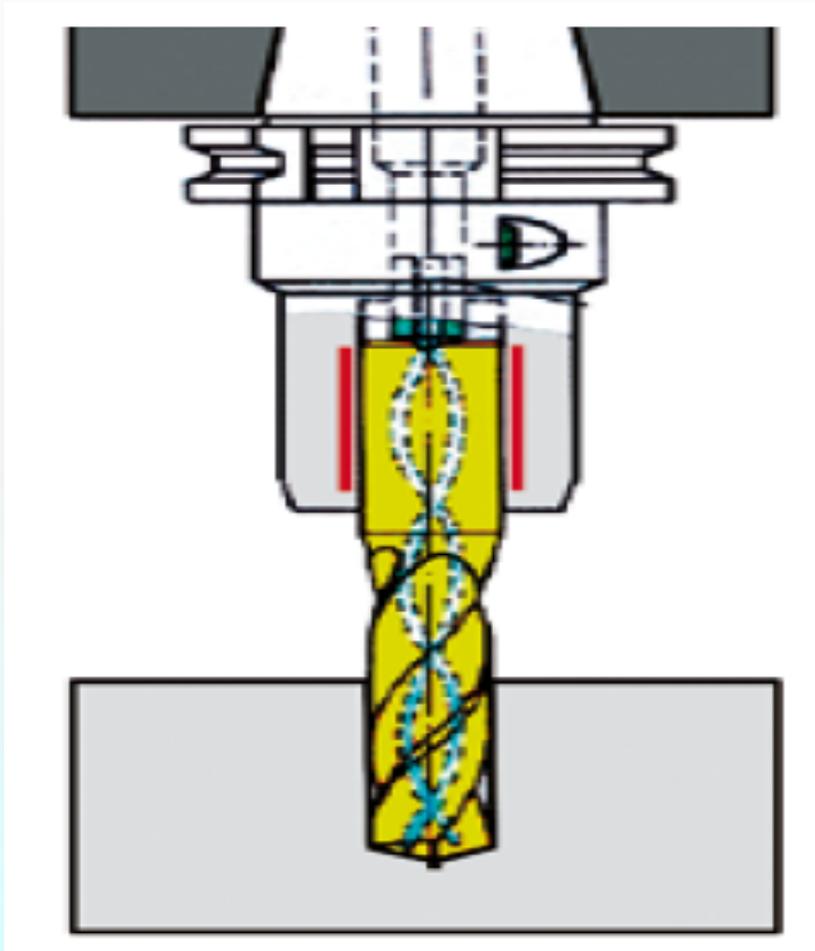
- ◆ 微量润滑是汽车、航空、国防、重型和其它工业降低生产成本的关键技术。
- ◆ 微量润滑通过下述途径实现生产成本的降低：
 - ◆ - 减少冷却液相关成本；
 - ◆ - 降低能源消耗；
 - ◆ - 降低工作节拍；
 - ◆ - 减少维护费用
- ◆ 降低设备投资：微量润滑技术使机床制造成本降低，主要体现在：
 - ◆ - 机床无需防水措施；
 - ◆ - 冷却系统简化；
 - ◆ - 更小的占地面积
- ◆ 绿色制造：更清洁、更安全、更健康的工作环境

外喷式微量润滑（定流量）

- ◆ 润滑剂由外喷式微量润滑装置（匹柯拉）提供，直接施加到工件、刀具、切屑接触的点，润滑剂以射流方式施加。
- ◆ 旧有机床的改造一般会采用外喷式微量润滑装置，喷嘴安装比较容易，但也仅仅能适合于简单的机械加工，例如锯切、钻孔（浅表）、铣削和车削，受润滑剂施加方式的限制，有些应用场合则并不适合。



内冷式微量润滑（定压力）



- ◆ 另一种方式是通过主轴、夹具和刀具内冷孔由内冷式微量润滑装置以悬浮剂方式施加到工作点。
- ◆ 内冷式微量润滑装置通过生成油悬浮剂，将润滑剂直接施加到工件和刀具的接触点上，在机械加工全过程中润滑油供应稳定，该技术使得微量润滑进行深孔钻和高速机械加工成为可能，由于油雾输送需要通过主轴和夹具，系统改造成本可能会略高。
- ◆ 内冷式微量润滑装置完全自动地跟踪机床刀具的更换，无需对油量、气量进行设定控制，

微量润滑技术相关定义

尚没有标准的微量润滑定义，现结合实践给予下述定义：

- ◆ 微量润滑：每一加工时间小时内提供毫升级微量润滑剂的技术称为微量润滑技术，有关装置称为微量润滑装置。
- ◆ 减量润滑：采用不同喷嘴减少切削液消耗量叫做减量润滑。
- ◆ 干切削：根据切屑中含切削液的比例确定，2%以下称为干切削。通常每小时100毫升润滑剂消耗量以下均可称为干切削，也包括微量润滑。严格说干切削是没有润滑剂的，因此“微量润滑干切削”就更精确了。

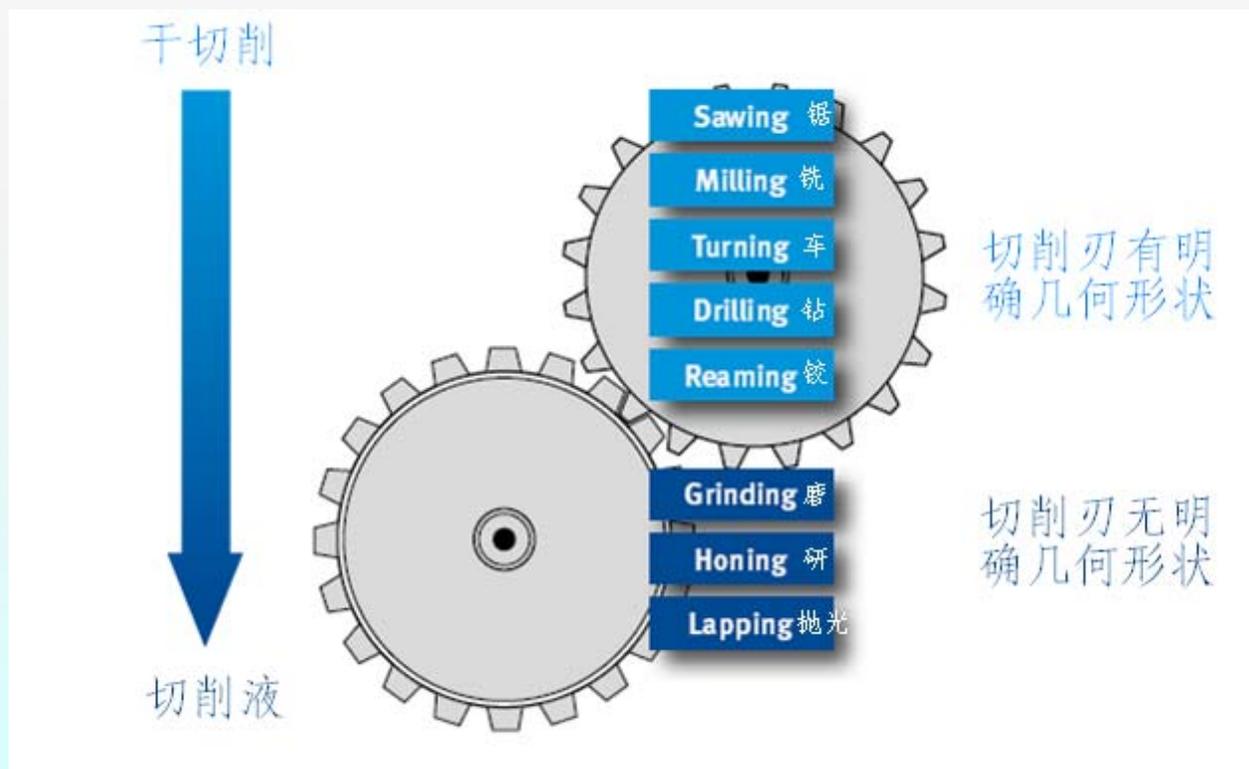
微量润滑技术的关键因素

- ◆ 每个期望使用微量润滑技术的公司总会问“如何我们才能最好地使用微量润滑技术呢？”微量润滑技术的关键环节如下：



微量润滑技术适用的机械加工工艺

- 除了机械加工点的冷却和润滑外，传统湿加工时切削液的一项任务是将切割区的切屑带走，而微量润滑技术最适合的是润滑为其最重要因素的机械加工



微量润滑技术适用的机械加工材料

- ◆ 实践中，适用微量润滑技术加工的工件材料范围广泛。
- ◆ 铸铁材料使用微量润滑特别有效，灰铸铁的石墨结构流畅并可起润滑作用，同样地，有色材料例如铝、钢材等也能使用微量润滑，只要对机械加工工艺进行针对性设计，非常难加工的材料也能采用微量润滑。

材料、微量润滑技术列表

	铝		钢		铸件
	铸铝	锻铝	高合金钢、轴承钢	调质钢、高速切削钢	GG20-GGG70
钻	微量润滑	微量润滑	微量润滑	干切削	干切削
铰	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑
螺纹切削	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑
螺纹滚扎	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑
深孔钻	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑
铣削	干切削	微量润滑	干切削	干切削	干切削
车削	微量润滑/干切削	微量润滑/干切削	干切削	干切削	干切削
滚齿			干切削	干切削	干切削
锯	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑	微量润滑
拉削			微量润滑	微量润滑/干切削	干切削

微量润滑技术和工件列表

部门	工件	材料	加工种类	目的
汽车零部件	油门壳体	GD-AlSi12Cu4	铣、钻、铰	降低元件成本8%
印刷机械	孔带	Ck45	铣、钻、攻丝、铰	提高工作节拍，10.49秒到小于7.32秒
汽车零部件	齿轮，汽车齿轮箱	20MoCr4	成形Shaping	环境保护和元件生产成本降低约5%
电子元件	连接元件	黄铜	钻、铣	延长切削油使用时间
气缸	连杆	GD-ZnAl4Cu1 铸铝	开面和槽	机床环境污染、金属切削液成本降低、更少维护和清洁工作、切削参数更高
工具和模具	工具	工具钢	铣和车	维护减少80%，工作更清洁，更好表面质量，更短加工时间
航空	飞机部件	铸铝合金	铣	机床工作环境保护，更低的工作采购成本
发电厂	汽轮机叶片	X22CrMoV 12.1, CrNi steels	铣	切削液加工不可靠，延长刀具寿命达3倍

微量润滑技术适用润滑剂（酯基润滑剂）

- ◆ 微量润滑是全损耗润滑，润滑剂以油悬浮剂方式施加到加工点上，因此使用者须保证毒理学无害的润滑剂的使用。
- ◆ 为了保证无故障和低排放，润滑剂有很好的润滑性和很高的耐热性是最好的。在工业制造中，会使用易挥发和高闪点醇类或酯基润滑剂。
- ◆ 酯基润滑剂几乎用于所有机械加工，其主要作用为防磨。典型应用是攻丝、钻、铰和车削加工。酯基润滑剂的优点是尽管其粘度低，但其拥有较高沸点和闪点，意味着工作环境中油雾（PM2.5）比传统切削液加工更少，同时酯基润滑剂有更好的生物降解特性和更低的毒性。

微量润滑技术适用润滑剂（醇类润滑剂）

- ◆ 和酯基润滑剂比，醇类润滑剂的闪点低些、润滑性也低些，其几乎无害。
- ◆ 醇类润滑剂是离心作用比润滑作用更显著的机械加工的微量润滑剂的首选，例如：有色金属材料加工。
- ◆ 醇类润滑剂有非常好的生物降解性，毒理学无害，对水完全无害。

酯基润滑剂和醇类润滑剂比较表

	合成油	醇
挥发性	慢	快
微量润滑加工时 工件残留	低	“干”*
润滑效率	高	低
闪点	高	低
水污染等级	对水无害级别	对水无害级别

微量润滑技术润滑剂选择

- ◆ **低排放润滑剂：**推荐下述指标作为选择低排放润滑剂的参考指标：
 - 粘度（40°C DIN 51 562 Part 1）：> 10 mm²/s 闪点（DIN EN ISO 2592）> 150 °C
 - 挥发性（250 °C acc. to Noack.DIN 51 581 Part 1）：< 65 %
- ◆ **气味：**微量润滑技术使得气味变得重要。
- ◆ **雾化性：**润滑剂应该容易雾化，特别是内冷式微量润滑装置使用的润滑剂。
- ◆ **添加剂：**加工有色金属和难切割金属时，需要根据要求适当加入添加剂。
- ◆ **工件残留：**尽管采用了微量润滑技术，但残留于工件和机床部件仍然难免，润滑剂应该不渗入和易于清除（需要时）。
- ◆ **粘度范围：**经验数据表明粘度范围15 到50 mm²/s，一些情况下达100 mm²/s效果较佳。粘度会影响到微量润滑装置的工作，请在采用不同粘度润滑剂时保持和微量润滑装置供应商的技术沟通。
- ◆ **改变润滑剂：**任何微量润滑系统改用新润滑剂需用新的润滑剂进行系统清洗，清洗工作必须是全面的包括管路系统和刀具、夹具、主轴内冷孔通道。
- ◆ **防腐保护：**应该检查微量润滑加工时在工件表面形成的油膜是否对工件具有防腐防护作用或是否需要额外的防腐处理。

不适合于微量润滑的润滑剂

- ◆ 天然油和黄油（干油）：他们容易氧化，会把机床部件弄坏。
- ◆ 水溶性切削液和他们的浓缩液：其所含生物灭杀剂能在悬浮剂中存在。
- ◆ 含有机氯或锌的润滑剂：微量润滑状态下温度相关的反应能产生有害健康的物质。
- ◆ 明令进行有害标注的润滑剂：其潜在的有害物质水平已经处于高位。
- ◆ 矿物油类润滑产品：
- ◆ 其它相关信息可从BGIA指导手册中查阅

微量润滑技术的应用案例

工件	材料	加工	刀具和规格	加工参数	刀具寿命	润滑剂
凸轮轴	16MnCr5	Centering 定中心	D = 6,3 x 20	N = 500 min ⁻¹ Vf = 50 mm/min	1200centres	粘段: 10-20 mm ² /s
凸轮轴	16MnCr5	钻	多步钻, D = 6,8 x 10 x 28,5	N = 2 800 min ⁻¹ Vf = 504 mm/min	2400 holes	Fatty alcohol Visc: 10 - 20 mm ² /s
凸轮轴	16MnCr5	铰	D = 7 H8	N = 690 min ⁻¹ Vf = 152 mm/min	1 200 operations	Fatty alcohol Visc: 10 - 20 mm ² /s
曲轴	38MnVS5	钻	HSS-Drill D = 14,5 mm	N = 330 min ⁻¹ Vf = 52,8 mm/min	500 holes	Fatty alcohol Visc: 20 mm ² /s
曲轴	38MnVS5	Countersinking	HSS-countersink 90 °	N = 90 min ⁻¹ Vf = 5,2 mm/min	960 operations	Fatty alcohol Visc: 20 mm ² /s
曲轴	38MnVS5	攻丝Threading	Tap M16 x 1,5	N = 90 min ⁻¹ Vf = 135 mm/min	500 threads	Fatty alcohol Visc: 20 mm ² /s
气缸盖	Al Si 7 Mg	锯	Band saw带锯		> 2 000 cuts	Fatty alcohol Visc: 10 - 30 mm ² /s
气缸盖	Al Si 7 Mg	铣	表面铣		Approx. 6 000	Fatty alcohol Visc: 10 - 30 mm ² /s
万向接轴	CK 45	Drilling钻 (Impact drilling冲击钻)	HSS-Drill D = 14 mm	N = 200 min ⁻¹ Vf = 40 mm/min	100 - 150 holes	Synthetic ester Visc: 20 - 30 mm ² /s
驱动轴	20MnCr4	Rolling DIN profile	Rolling tools		40 - 50-thousand	Synthetic ester Visc: 20 - 35 mm ² /s
气缸盖	Al Si 10 Mg	Milling铣	End mill端铣	N = 4 000 min ⁻¹ Vf = 1 200 mm/min	Approx. 105 000	Synthetic ester Visc: 30 mm ² /s
气缸盖	Al Si 10 Mg	Milling铣	Surface mill表面铣		Approx. 3 500	Synthetic ester Visc: 50 mm ² /s
连杆		Thread grooving螺纹孔槽	Thread grooving	N = 190 min ⁻¹ Vf = 285 mm/min	1 500 Threads	Synthetic ester Visc: 10 mm ² /s
曲轴箱	Al Si9 Cu3	Deep hole drilling	Deep hole drill		5 000 holes	Synthetic ester

2013/4/5

北京培峰技术有限责任公司

19

微量润滑装置之外喷式

- ◆ 微量润滑装置的主要任务是将合乎要求的润滑剂输送到刀具和工件的接触点上（切刃边缘），有数种方式即多个装置可以实现该目标。
- ◆ 对单一用途机床，如拉床、锯床，简单的、手动的微量润滑装置带几种功能模块或装置常被采用。如右图所示威普图尔产品。采用压缩空气输送润滑剂到切削点附近，在管路尽头用压缩空气经过喷嘴将润滑剂喷到刀具上。该系统简单、成本低廉、容易配置以适应传统的切削刀具之需要，此为其关键优点，而其缺点是其原理限制了其应用的广泛性。喷嘴需要手动进行调节，还存在散射损失和背影损失。
- ◆ 最主要应用是：锯、铣、拉、钻、攻丝等。



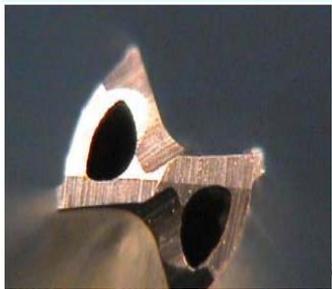
微量润滑装置之内冷式



- ◆ 内冷式微量润滑装置将润滑剂直接施加到切削点，润滑剂输送须经过主轴、刀具夹具、刀具内冷孔。在整个加工过程中切削区始终保证处于有润滑状态下，这保证了深孔钻和高速切削的可靠。
- ◆ 当外喷式微量润滑不够有效时，例如钻孔深度达到一定倍径比时，或者机床工作节拍要求大幅提高以提高生产效率时，我们就可以选择内冷式微量润滑技术。应用场合包括切削刃有明确几何形状的全部机械加工、高度柔性机床、多主轴机床。

微量润滑技术适用刀具

- ◆ 在湿式加工（切削液）时常用的刀具，在微量润滑干式加工时显然我们会关注其效率，特别是高热、高速加工时。微量润滑干式加工专用刀具是更高效加工的必备条件。一方面微量润滑技术是降低热量的，另一方面切屑使得切削热快速消散，微量润滑干式加工专用刀具根据工件材料和刀具几何形状进行优化，涂层和形状协助排屑以避免过热。
- ◆ 刀具涂层技术加快了切屑排出并增加了工艺可靠性，因抛光刀具表面和材料硬层间隔热使切屑和切割表面的摩擦减少，采用椭圆冷却通道增加冷却通道截面积的刀具改进了润滑剂供应。
- ◆ 许多刀具厂家已经积累了大量技术经验甚至专利并提供了大量微量润滑技术适用刀具供选用。为了选择正确的刀具，需要结合工件材料、刀具规格和切削参数进行优化。刀具轴的几何形状则是内冷式微量润滑技术的核心，机床刀具接口必须是完全闭合的系统，机床和刀具卡盘必须适配并调整好，主轴必须密封完好，传输路径须没有阻挡，这样才能保证润滑剂供应最优。



微量润滑技术适用刀具

- ◆ 现今，切削液通常不再必要的重要原因是有了涂层。涂层的作用就象一层热屏障，刀具吸收的热量较少，能承受较高的切削温度。涂层刀具都允许采用更高效的切削参数，而不会降低刀具寿命；
- ◆ 较薄的涂层比厚的涂层经受温度变化的性能更好，用薄涂层刀片进行干式切削可以延长刀具寿命高达40%；
- ◆ 在高速干式切削的情况下，最好的PVD涂层是氮铝钛(TiAlN)，它的性能在高温连续切削时，优于氮化钛四倍，例如用于高速车削。TiAlN涂层对于处在较高的热应力条件下的刀具，也胜过其它涂层。象干式铣削及那些小直径孔的深孔钻削切削液难以到达的部位。
- ◆ 对于加工大多数黑色金属，CVD涂层仍然是更受欢迎，其刀刃的韧性好，抗塑性变形的能力强。由于CVD涂层比PVD涂层厚，就要求在它们的刃口处进行钝化，防止涂层剥落，也有助于提高刀具的抗磨损性能；

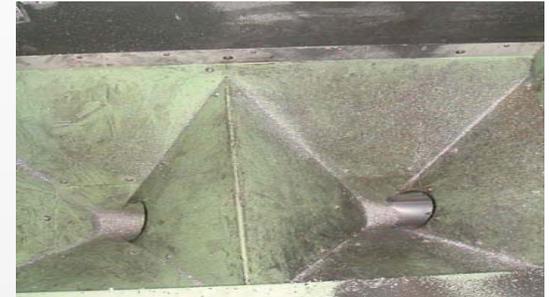
**采用适合微量润滑的刀具，会更大程度地获得微量
润滑干式加工的益处！不同的材料选择不同刀
具！**

采用微量润滑技术之机床

- ◆ 采用微量润滑技术的机床，其最快速、最完整地将切屑、金属粉末从工作区排出是最重要的，和湿式加工时切屑、工作区均有大量切削液冷却相比，我们必须注意微量润滑干式加工时的温度，必须尽可能避免切屑在切削点停留而导致温度上升，高温能导致精确度下降、变形和偏差。
- ◆ 保证切屑排出的是工作区的布置，实践证明重力式切屑排出最为有效，切屑全部掉落没有隐藏，四周为倾斜布置的金属板，下面开口接切屑输送带，尽量避免水平平面和边角。
- ◆ 快速、彻底的切屑、金属粉尘的排出也是防火安全的一个重要方面，可以由机床控制系统监视切屑排出皮带的工作情况，排出系统故障，机床可以选择停机或报警。

采用微量润滑技术机床的抽气系统

- ◆ 机床内部所产生的排放物的有效排出被证明是非常有利于微量润滑干式加工的，油悬浮剂和金属粉尘的连续抽出具备下列优点：
 - * 与工作区域限制值保持一致
 - * 将火灾和爆炸威胁降低到最小
 - * 减少清洁工作强度，改善机床清洁程度



所有这些减少故障停机时间，提高工艺可靠性，有利于操作工

- ◆ 和湿式加工相比，微量润滑技术的抽气系统不仅需要将油气、油雾抽出而且必须将金属粉尘排出，因此必要时由机床控制系统监视抽气系统工作并在抽气系统故障时停止机床工作。
- ◆ 机床罩壳应该稍有负压以使仅有向内气流，抽气系统应能调节当机床门打开时（更换工件、更换刀具等）没有排出物外泄。
- ◆ 抽气量应足够大确保润滑剂和金属粉尘不形成可燃混合物，保持抽气管内流速够高防止粉尘堆积。
- ◆ 建议设粉尘和切屑的分离措施。
- ◆ 抽气口宜设在加工点附近以提高抽气效率
- ◆ 抽气系统设置于输送带下向下抽可沿机床内壁有效形成气幕从而清洁和改进切屑排出，很大程度上也防止了切屑结团。

微量润滑，节能减排、绿色制造的助推器

◆ 为什么采用微量润滑是绿色制造呢？

在机械加工工业中对职业皮肤病影响的物质中，切削液排第一位，钢铁工人协会的研究表明30%的皮肤疾病由切削液引起，车床操作工、抛光工人、铣床和钻床操作工特别容易被影响到（德国工程师协会报告1339）

传统切削液含非常多的添加剂用于延长刀具寿命、抗菌、防雾化、防止起沫等等，其它亚硝酸铵、微生物等物质也是健康危害物质

微量润滑MQL状态下没有下述情况：

- 无有害的化学成分
- 无皮肤反应
- 无碍呼吸
- 车间地面不再湿滑
- 没有细菌污染风险
- 无有害的产品反应

仅全面采用微量润滑的车间才能实现标准要求的油雾水平
0.5毫克/立方毫米以下

微量润滑技术之机床清洁

- ◆ 采用微量润滑技术之机床，可能发生令人厌烦的污染，例如微粉尘、切屑、油污形成的粘稠脏物，特别是石墨粉尘等，能使机床变得非常肮脏，因此机床须常进行清洁工作。
- ◆ 手动清洁：每班工作结束时采用布或刷子对机床进行定期清洁证明是非常有效的，特别是对于光学测头、监视器、保护装置等应该更加予以照顾。
- ◆ 低压清洁：比较脏的机床，建议采用低压热水进行清洁工作，例如3到7.5bar水温95°C的水，防腐添加剂同时能防腐。
- ◆ 干冰喷射清洁：特别脏的机床可以使用干冰喷射清洁，用压缩空气喷射米粒大小的干冰丸，可使脏物离开板表面，清洁后干冰气化没有残留，清洁时声音较大是该方法的缺点，工作人员也需要穿戴防护，工作场所狭小时有二氧化碳浓度超高之危险，须按照有关标准进行。
- ◆ 注意事项：
 - 要避免高压清洁，防止粉尘、微小切屑对密封的损害
 - 避免使用清洁剂，存在导致火灾或爆炸的危
 - 避免使用压缩空气，会形成粉尘云



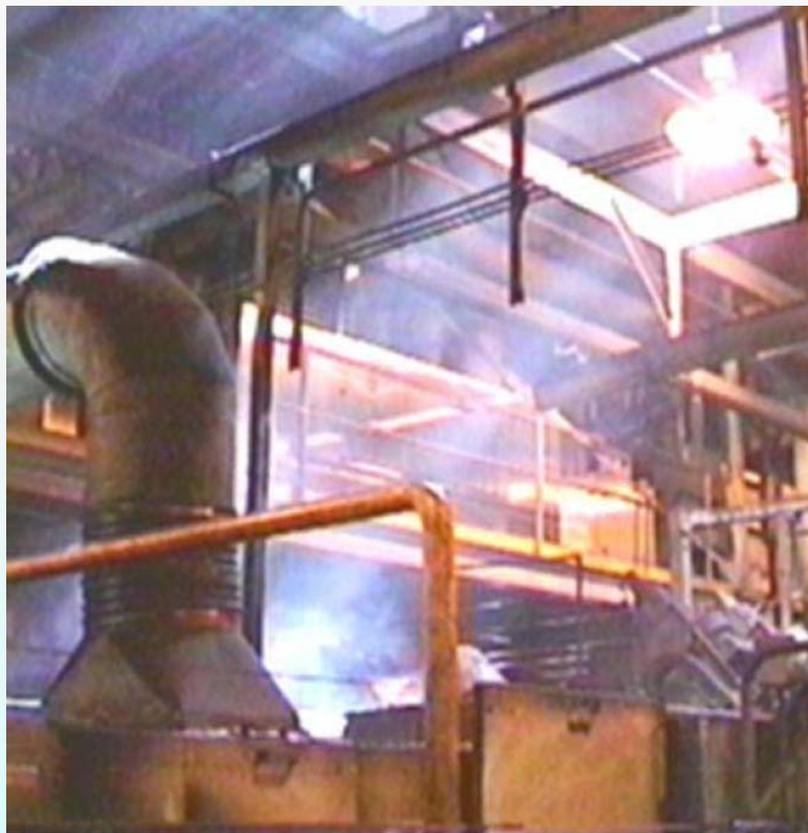
微量润滑技术之机床操作工

- ◆ 机床操作工须进行微量润滑知识的培训，尽快对微量润滑技术有所了解。
- ◆ 定期就生产、使用的知识和经验进行分享，并安排和微量润滑装置供应商的技术交流都有利于微量润滑技术目标的顺利实现。
- ◆ 在以湿法加工为主的车间或生产线上定义划分出干岛也有助于操作工加深对微量润滑干加工的了解。
- ◆ 实践经验证明交流和培训非常有效，能大幅度改善使用效率。



切削液机械加工之环境课题

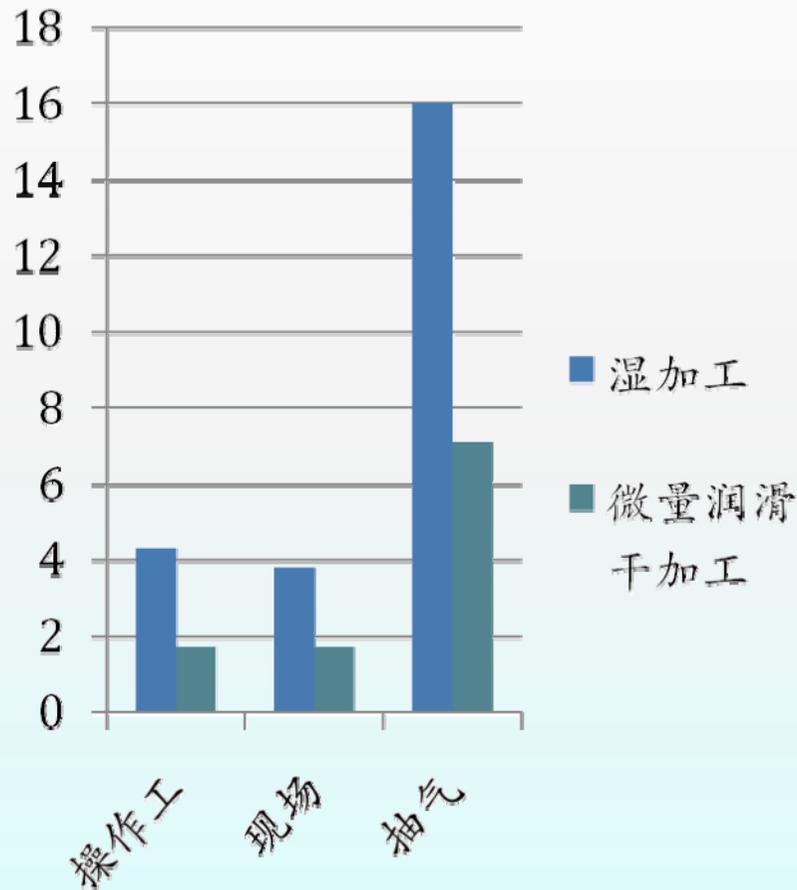
想告别这样的工作环境？



想避免这样的工作成果？



微量润滑技术之排放

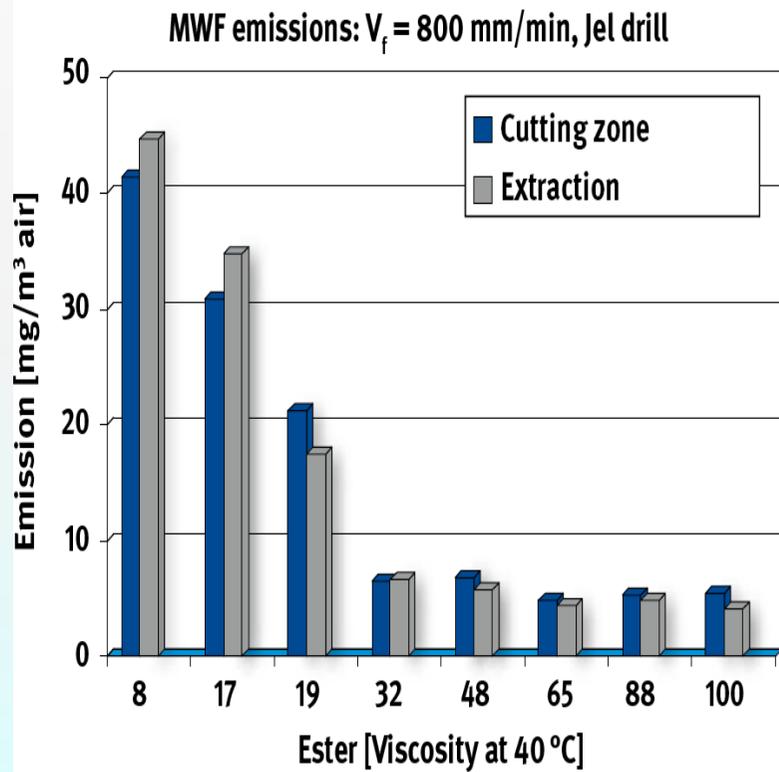


- ◆ 微量润滑技术是低排放流程，其温室气体排放显著减少。
- ◆ 如果把灰尘、切削液悬浮剂和蒸汽作为衡量指标进行测量评估，切削液时其作业面最高允许值：10 mg/m³ air，工作场所最高允许值：3 mg/m³ air
- ◆ 右显示微量润滑干加工和湿加工的排放比较数据。抽气系统测得数据在微量润滑时比湿加工时的排放少很多。

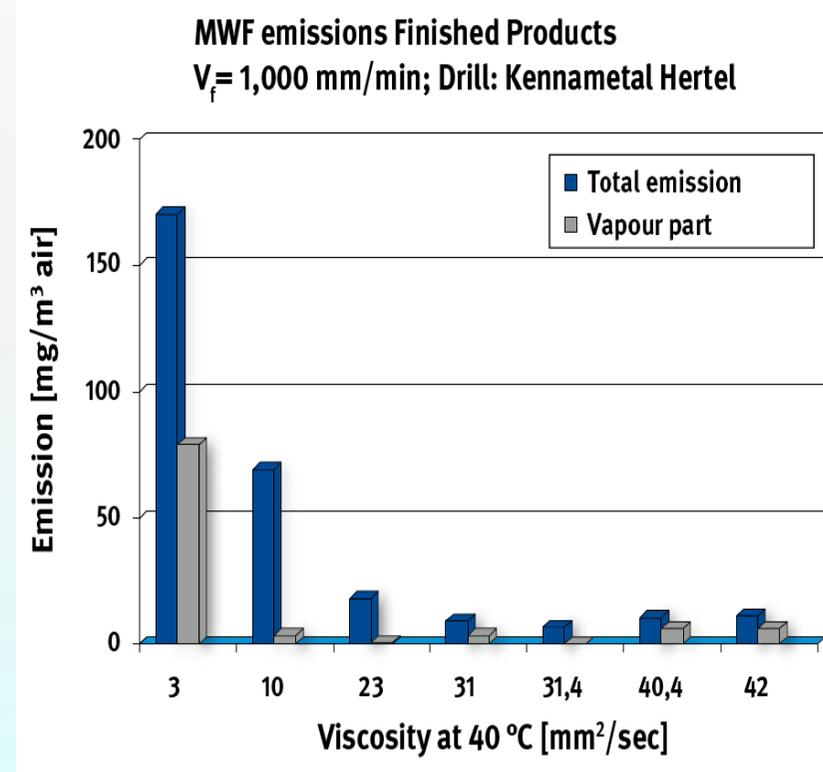


切削液时的排放水平

◆ 切削液加工时切削点的排放值



◆ 不同切削液时排放水平



微量润滑，节能减排、绿色制造的助推器

- ◆ 传统切削液加工时的消耗量：
乳化液：1000-10000升/小时
润滑剂：50-500升/小时
(戴姆勒克累斯勒数据)
- ◆ 微量润滑时消耗量
压缩空气：15立方米/小时 (平均值)
油：5-50毫升/小时 (北京培峰统计数据)



微量润滑，节能减排、绿色制造的助推器

问：采用微量润滑我们需要做什么？

- ◆ 主轴、刀塔和刀具有内冷孔吗？有内冷通道的可以采用内冷方式，没有的则采用外喷方式；
- ◆ 是否有合适的旋转接头引接？主要是连接考虑，不合适可以进行改造；
- ◆ 夹具是否合适？有些夹具不适合于内冷式微量润滑，外喷方式对夹具没有特殊要求；
- ◆ 在夹具和主轴之间需要输送管吗？某些机床的主轴结构需要在主轴和夹具之间增加输送管，保证输送管路完整；
- ◆ 压缩空气来源检查：6-8Bar干燥压缩空气来源是必需的；
- ◆ 刀具的合适性检查：微量润滑合适的刀具是必需的。

通常，采用切削液加工的机床可以直接将切削液管路接到微量润滑装置上便可以开始干式加工了！

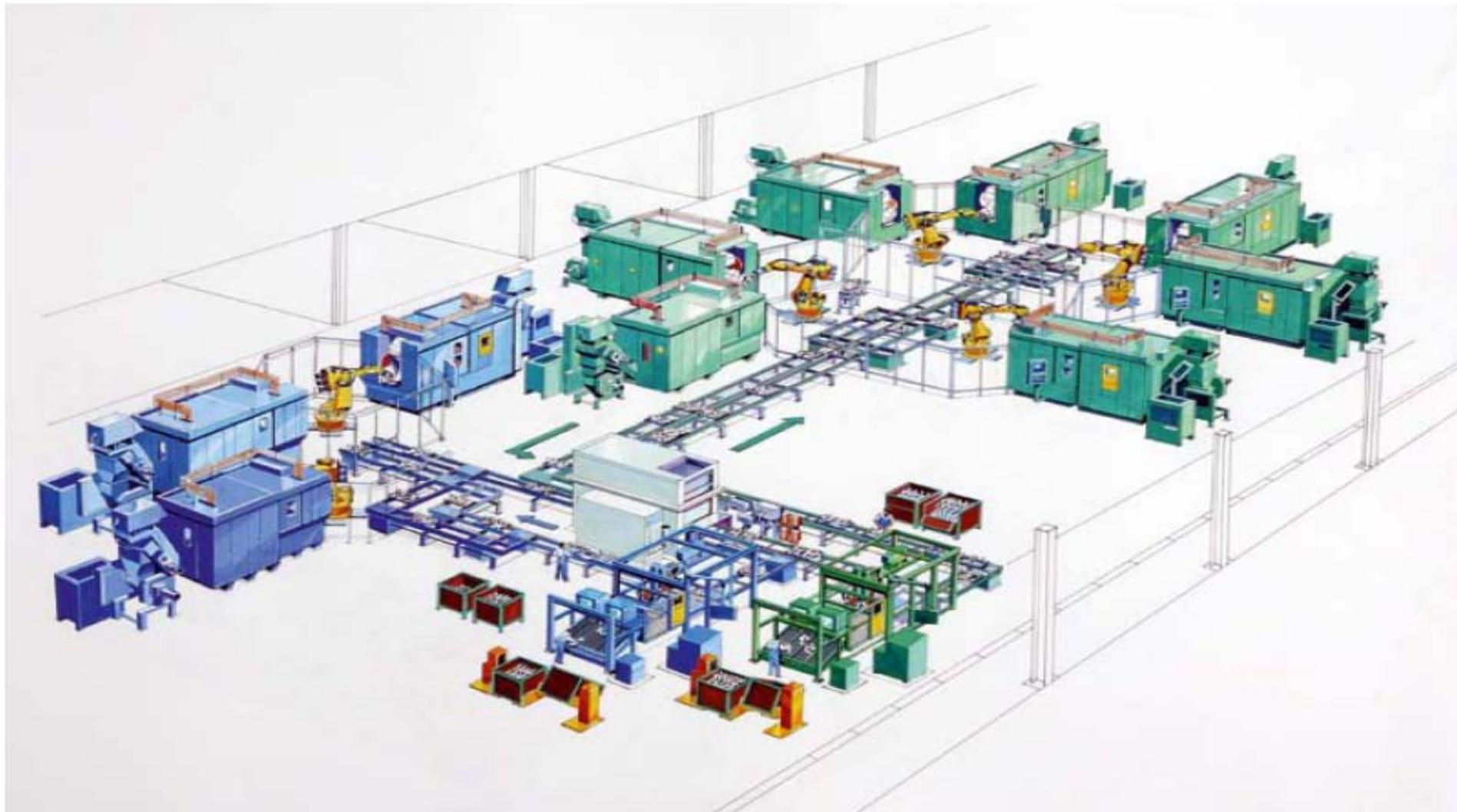
微量润滑技术

- ◆ 可否在微量润滑下进行钻孔作业？铣削和车削是非常容易采用微量润滑的，工件和刀具接触少，切屑排出方便、快，钻孔时排屑非常重要，攻丝和铰也类似。培峰自进行微量润滑以来，把钻孔、攻丝作为主攻方向，从5D、10D、15D、20D到现在的30D钻孔深度，把微量润滑的能力发挥到极致。工件材料从铸铁、碳钢、42CrMo、48MnV。人们通常会认为微量润滑的优势是节约了切削液废液处理费用，但在培峰看来最大的节约来自于切削液的物流相关成本。
- ◆ 通常，微量润滑对刀具有要求，但培峰的实践中使用的都是客户原来的刀具。我们发现，过分的研磨反而对刀具寿命有影响。当然，涂层刀具还是应该予以考虑的，德国钻领公司的FIREX产品在微量润滑状态下性能表现优异。
- ◆ 通过主轴、刀具内冷孔来输送微量润滑剂的方式最有效、最可靠，在深孔加工时其它方式无法保证将润滑剂送到加工点上。这也是猛可敌微量润滑装置始终处于为用户服务第一线的原因。对于没有这样输送润滑剂通路的机床，加一外部管路系统直接将润滑剂送到刀具也十分简单。
- ◆ 选择适合于微量润滑的刀具可以获得更大的经济效益。
- ◆ 选用切屑抽出系统会有助于改善微量润滑状态下的排屑，帮助提高生产率。
- ◆ 更新理念，改进工艺，采用微量润滑，会使机械加工产生革命性的跃进。
- ◆ 去掉切削液，习惯地我们会降低速度以保证刀具寿命，但当你把速度提高后你发现切屑排出速度加快，刀具的寿命反而大幅度得到延长。

微量润滑，节能减排、绿色制造的助推器

案例图片（曲轴油孔加工）





微量润滑技术是大规模、高效生
产线节能、减排的未来