

润滑

对最小量润滑切削的分析和对气溶胶的评价



更多精彩请扫描二维码

基于对最小量润滑系统（MMS）特征定义的研究，可以对该系统各组成部分（如刀具或 MMS 装置）之间的互动作出评价。

文 | Patrick Bollig

最小量润滑（MMS）技术可以整合干式加工和湿式加工的优势特征。在采用 MMS 条件下，部件加工过程几乎可以省去冷却润滑剂的冷却和润滑，所受到的热负荷程度也非常低。从生产技术角度上看，适合采用 MMS 润滑技术的主要加工工艺有镗削、铣削和车削。对此，在刀具磨损、喷嘴位置、部件表面质量、切削力和温度掌控等方面进行了大量的工艺研究。

工艺和方法

在 MMS 或通用喷淋技术研究方面，已经有多种不同复杂程度的方式方法可供采用，以对诸如滴液大小、滴液分布和滴液 / 颗粒物速度等要素进行测量。属于此类方式方法的有高速摄像、干涉模糊成像、共焦激光扫描显微和相位多普勒流体测量（PDA）等。PDA 系统可以达到很高的测量精度，但是由于激光光束宽度所限，这种测量也只能局限于特定的滴液规格之内，而无法对全部喷淋范围进行测量。

迄今为止尚未就切削过程中从刀具溢出的气溶胶雾状颗粒物的速度和滴液

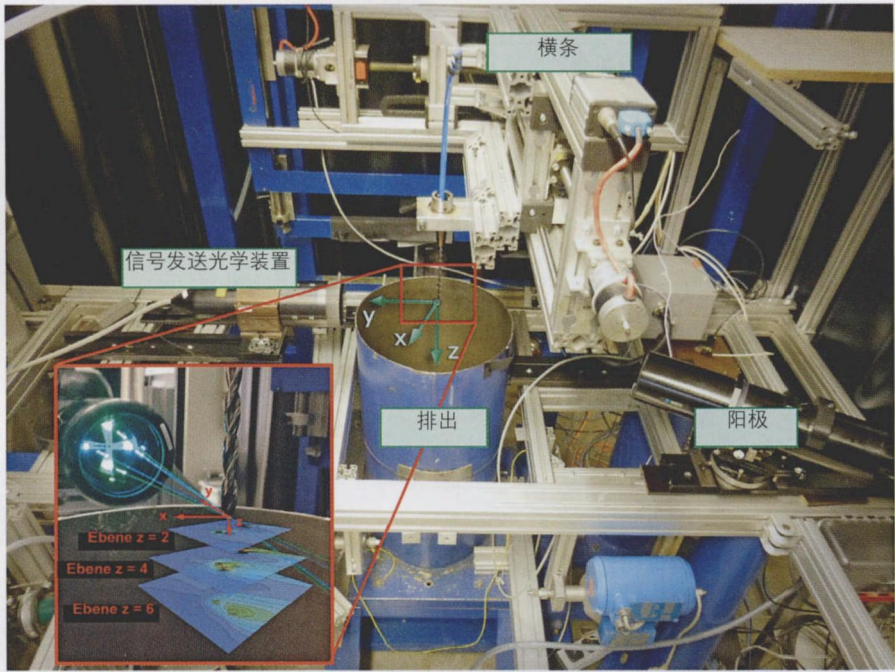


图 1 采用 PDA 对颗粒物进行测量的试验结构和测量过程

大小等项内容对 MMS 的特征作出过表述。时至今日也尚未对气溶胶在滴液大小、颗粒密度和速度上对加工结果的影响作出过明确的澄清。下文所介绍的研究项目对一种在各种影响因素条件下，仍然可以对气溶胶滴液的直径和颗粒物速度

进行测量和评价的测量结构进行了实施和应用。

实验性结构

在试验工作框架内，采用带有 MMS 通道的标准型镗刀对设有常见 MMS 入口

压力的常规组合系统进行了试验。入口压力被调设在 4 bar ~ 9 bar (1 bar 步距, 1 bar=0.1 MPa) 之间, 因为这个压力范围被应用到很多工业加工流程之中并可获得大多数压缩空气供应服务。为了实现雾状气溶胶特征进行定义, 所使用的镗刀的主要差别在于其冷却通道的长度和直径上。镗刀产品由 Gühring 公司和 Komet 公司提供。每个镗刀都会依据各自的入口参数生成各自典型的喷淋图。为了对 MMS 流程特征作出描述, 必须采用所选定的气溶胶规格 (如滴液直径和颗粒物速度)。滴液直径 D_{32} 与滴液数量和滴液表面形成一种关系并可通过如下的公式进行计算:

$$D_{32} = \frac{\sum nD^2}{\sum nD^3}$$

这里的 n 为滴液的数量, D 为滴液的直径。有了这些参数, 将来可以根据喷淋图和常规的测量仪器对 MMS 结构的质量进行评定。为了实现这些步骤, 必须在最初的试验阶段里把喷淋图生成、滴液特性及其对切削过程的影响等关系摸索清楚。

无接触测量方法

相位多普勒流体测量仪 (PDA) 是在测量颗粒物大小和速度方面非常精确的一种测量结构。PDA 是一种可对流体和颗粒物进行 2D 或 3D 测量的无接触式测量方法。采用本文所述的测量系统, 可以同时测量颗粒物的尺寸、密度和速度。此外, 还可以对流体中的湍流分布情况进行 3D 测定。相位多普勒流体测量技术基于在流体中通过单色光方法对颗粒物的散射光进行测量的一种原理。对此, 通过光束分离装置把激光光束分成两个单独的分光束, 通过光束内的 BRAGG 晶胞来测定相位移动量。

借助于一个简单的棱镜对激光光束进行聚焦, 即可获得所需的测量范围。在测量过程中, 一旦有一个颗粒物穿过测量区域时, 激光即可捕捉到与速度相

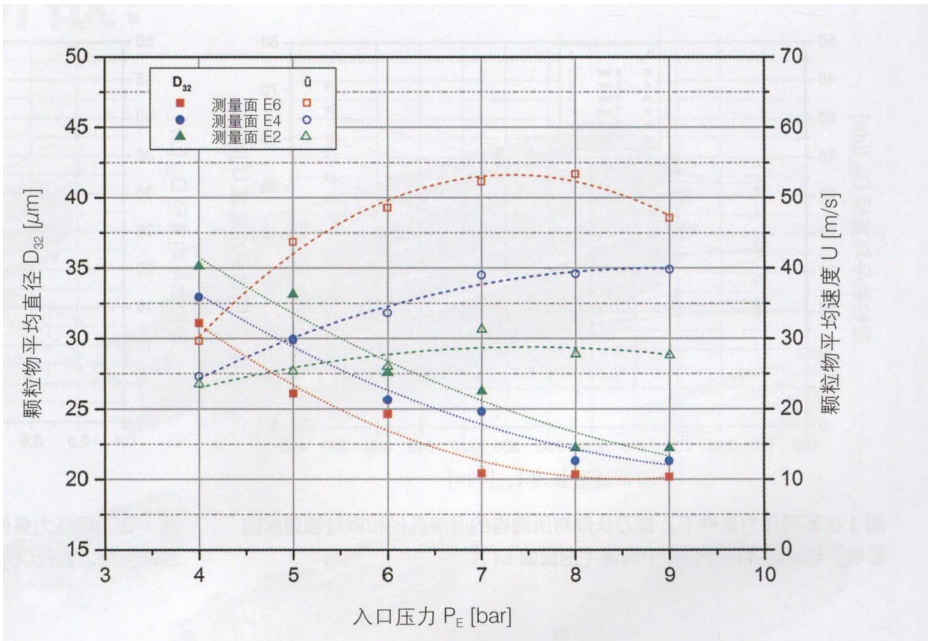


图 2 当镗刀 $L_{B2}=220\text{ mm}/D_{KK3}=1.0\text{ mm}$ 时, 入口压力对所测得的滴液直径和颗粒物速度的影响

关的离散量, 类似于多普勒效应中的音频漂移。通过探测仪器 (频率分析仪) 即可对此类现象进行显示和分析。通过抵达探测仪里的信号的相位移动, 即可确定出颗粒物的直径。在计算过程中, 也必须简单地设定所测量的颗粒物几乎为球形。

针对 PDA 测量, 依据不同的测量空间方向, 通常使用两至三个探测仪, 以对大小规格未详的颗粒物进行测量。PDA 系统的试验架构主要由图 1 所示的几个部分所构成。在光学发射装置方面, 采用了两台 Coherent 公司 Innova 90 型和 3000C 型的大功率激光仪。借助于 Dantec 公司的 Fibreflow 型分离槽并以 $\Delta f_{\text{BRAGG}}=40\text{ MHz}$ 的频率, 对单色光进行推移。棱镜把激光聚焦到横条上的镗刀的下方一个点上。用于测量用途的 PDA 系统由两对激光器构成, 可以在空间里同时对两个速度分量进行测定。在试验之前, 就通过 HPM 公司的 Z20 型单通道系统把 Pimos 1109 AL 气溶胶泵送到刀具上, 以便对一个处于平衡状态的流程进行试验。

在试验框架内, 被聚焦的激光点保持其位置不变, 这是因为只有刀具可以

通过横条以 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的跳动在 X/Y 方向和以 $200\text{ }\mu\text{m}$ 的跳动在 Z 方向上移动。通过横条方式, 可以对一个 $12\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 的面积进行测量。在 Z 向上, 为了实现在镗刀出液口的不同测量平面上的测量, 也可以使用横条。在不同的测量面上以距离镗刀刀尖 2 mm 、 4 mm 和 6 mm 的间距对各种不同的变量参数的影响进行探索并重复四次。

对测量数据的评定

为了能够对测量结果作出评价, 选择了多个垂直于镗刀中线的垂直测量平面并以与镗刀刀尖的不同距离进行测量。在这些测量面上, 通过移动横条使测量仪器接近于测量面上的各个测量点并对之作出测评。依据气溶胶的不同密度情况, 每个测量点上的颗粒物数量基本上都会在 20 000 和 100 000 个之间。下文对由此测得的滴液直径 D_{32}^{rel} 和颗粒物速度 μ^{rel} 作一个介绍。

气溶胶压力的影响

图 2 举例说明了对于 $L_{B2}-D_{KK3}$ 镗刀所测得的滴液直径和颗粒物速度与气溶

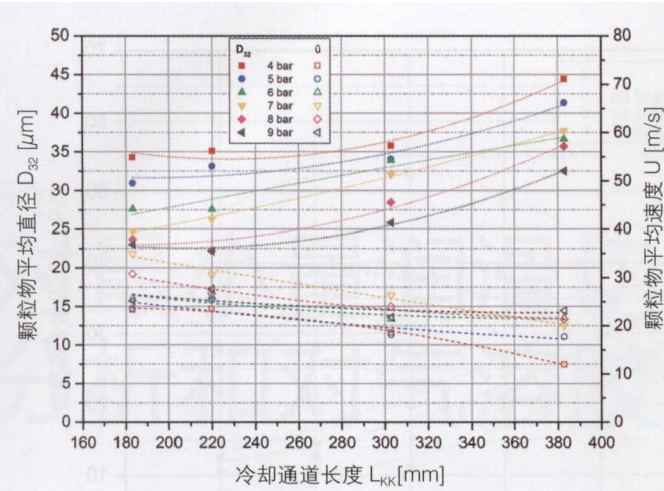


图3 在不同压力条件下，镗刀长度对所测得的滴液直径和颗粒物速度的影响。长度以4 mm 为一个间隔（测量面 E4）

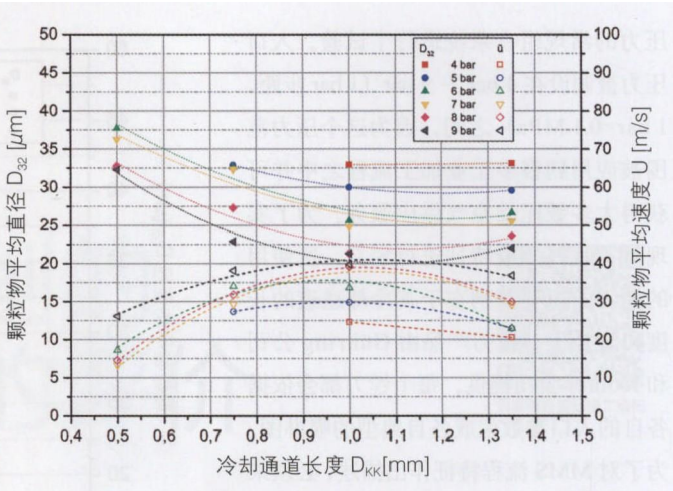


图4 在不同压力条件下，冷却通道直径对所测得的滴液直径和颗粒物速度的影响。直径以4 mm 为一个间隔（测量面 E4）

胶压力之间的相互关系。

借助于 PDA 手段对喷淋图的测评的结果表明，随着入口压力的增大，所有三个测量面上的颗粒物规格逐渐变小。滴液直径曲线表明，对于所有测试镗刀和测量面，这种下降变化呈现出非线性特点并逐渐接近于极限值。当压力达到 8 bar 以上时，极限值便会出现。

在颗粒物速度曲线也可以观察到类似的现象。这里可以看得很清楚，即当入口压力达到 8 bar 以上时，所有镗刀上的颗粒物速度也不再有明显的提高。同时还可以观察到，随着压力的增加，测量面上的光束中心点会发生偏移。

在试验框架内，对四种不同的镗刀长度和与刀具出液口的不同间距进行了测量。测量结果表明，随着刀具长度加大，滴液直径也在变大（图 3）。而不受镗刀长度影响的是，入口压力越大，滴液直径会反而越小。颗粒物速度则相反，刀具长度和入口压力越大，颗粒物速度则越小。

当冷却通道直径达到 0.5 mm 和 0.75 mm 并把入口压力调节到最低的 4 bar 时，则无法生成可测量的气溶胶喷淋图。通过目测观察可以发现，气溶胶在冷却通道的出液口上容易发生大的聚集。其中便会随机性地离析出一些较大的滴液。这些较大的滴液会使 PDA 测量

失去可能性，这是因为滴液的容量大于 PDA 最大可调节的测量容量。

随着入口压力从 4 bar 上升到 5 bar，且冷却通道直径达到 0.75 mm 的话，则可生成可测量的细微喷淋图。当入口压力处于 6 ~ 9 bar 范围且冷却通道直径达到 1 mm 时，可以测得最小的滴液直径。而把冷却通道直径扩大到 1.35 mm 时，这并不会对滴液直径的改善产生任何作用（图 4）。同样，最大的颗粒物速度也是在冷却通道直径为 1 mm 的情况下测得。

本文介绍了一种首次可以从颗粒物速度和滴液直径等方面对 MMS 系统进行探究的高精试验结构。大量测量结果表明，仅凭压力、长度和直径等方面的变量，就可观察到对气溶胶特性所产生的显著影响。一个主要的成果便是可以确定出滴液直径与颗粒物速度之间的相互关系。颗粒物速度下降，则会有较大的颗粒物生成。

对于颗粒物速度来说，所调设的 MMS 仪器的压力是非常重要的。在试验范围之内，当压力上升时，滴液直径就会变小，而颗粒物速度则会变快。当刀具长度相同而冷却通道直径不同时，可以在冷却通道直径为 1 mm 的情况下测得滴液直径的最小值。而在镗刀长度发生变化时，迄今为止并未发现滴液直径将

会达到明显的最小值的情况。

在后续的研究工作中，是否在上述这种情况下可以发现一个最小值（即目前在刀具长度达到 220 mm 时所能估测到的一个最小数值），这一点尚有待澄清。对所观察到的颗粒物速度随刀具长度增加而下降和滴液直径随刀具长度增加而变大的现象，可以从刀具长度增加导致管道阻力加大或由于颗粒物被分离到冷却通道管壁上等因素上找到原因。

哪种因素会占主导地位？对此，迄今为止在研究工作框架内尚未得到澄清。对试验中所观察到的因压力作用而出现光束中心点在测量面上偏移的现象，估计其原因可能在于边缘区域里速度较快的空气颗粒物受到挤压而进入到光束中心区域的缘故。

计划进行补充切削试验

所进行的测量工作应该在后续的研究工作中得到延续并与 SKF 公司的 Digital-Super 型 MMS 参考测量仪进行比对。同时还对相同边缘条件下的切削试验作了补充计划，以便获得加工结果与喷淋图特征之间的相互关系。此外，也应该对是否是较大或较小、较快或较慢的滴液对切削作业更加有利的问题作出回答。[MM]