

深磨加工

批量产品制造的经济型替代作业方式

与传统的常规摆式磨加工作业方法相比，深磨加工方式更具有竞争优势。尽管这种加工方式成本比较昂贵，但是，采取深磨加工作业方式在批量产品制造中能够明显提高生产率。这样，在对圆形和月牙形刀进行磨加工作业时，采取深磨加工方式可缩短 30%~50% 的作业时间。

文 | HOLGER GRÖENING, GERD TRAMMER

在使用摆式磨加工方法进行作业时，多个摆动行程中砂轮切削工件材料的磨量很低，而深磨加工方式恰恰相反，在一个作业行程里可去除工件的材料增量，也就是材料磨量范围达 0.1~15 mm。

工件和砂轮的接触面较长

深磨加工，也被人们称作是全断面或低速磨加工，所以尽管在采

用深磨加工方式时，磨床的进给速度很低，但实际上却能够达到缩短加工作业时间的效果。与摆式磨加工方法相比，采用深磨加工方式加工，工件的表面质量更佳。采用深磨加工方式进行加工时，工件和砂轮之间的接触面明显较长，工件材料磨量较大，所形成的生产力和温度也较高，所以砂轮、磨床的刚性和驱动装置以及冷却系统必须根据相应的荷载进行设置。由于所需加工作业时间较短，所以深磨机床在相同的时间段内可加工制造更多的工件。这样，便可降低工件的加工成本并提高生产的经济效益。但在采用深磨加工方式进行加工时，必须考察采用这种加工作业方式的前提条件是否具备：即投资深磨加工机床的较高成本是否大于提高生产力所带来的经济效益。此外，各

个加工企业的生产条件各异，所以在实际应用中的生产条件也不尽相同，因而在是否选择深磨加工方式取代摆式磨加工方法前，要提前进行考虑和分析。

如果哪家企业追求缩短作业时间，希望采用深磨加工方式降低单件工件的加工成本的话，那么，就必须对人们证实过的问题进行全面考虑，并且要进行经验交流。参与这项工作的人员必须能够符合深磨加工作业对生产工序和生产发展以及深磨加工系统的综合性的较高要求，此外还需要调整企业的部分生产链。为了确保加工作业流程的可靠性，采用深磨加工作业方式，还要投资设备的新周围部件，并且要对机床设备的保养和维修流程作必要的改动。接下来，还需对加工企业的物流、刀具和耗材作必要的改动。鉴于企业从原来的摆式磨加工方法改为深磨加工作业方式需进行很大的改动，所以这其中一定存在着节省成本的潜在可能性。为此，必须对加工企业的具体设备部件和



Micro Cut 4 结构系列的磨床适合用于涡轮叶片的深磨加工作业

元件进行深入的具体分析，这对挖掘潜力、节省成本的意义很大。

在采用深磨加工作业方式时，由于生产加工流程中产生很大的力，所以磨床的机械负荷较高。这要求磨床底座、设备控制系统和部件稳定性能好，并具有较高刚性。相比之下，磨床设备的结构要相应的特别大，处于动态的部件为较大的物质，所要求的磨床心轴和进给轴的驱动功率也较高。

表面有孔的砂轮接受较高的热负荷的能力较强，这也与结构件的材质相关，通常，人们使用的是金刚砂和硅碳化物主体材料的结构件。而相反，采用摆式磨加工方法进行加工作业的企业通常是使用 CBN 和金刚石砂轮。由于在采用深磨加工作业方式时结合体积较低，阻止砂轮的颗粒脱落的能力降低，所以导致单位作业时间内的磨损量也较大。通常，采用深磨加工作业方式的加工企业可通过持续调整加工工件与砂轮结合面来消除这一弊端，并能以此提高深磨加工作业的精度。

冷却润滑剂必须导出加工作业过程中所产生的热量

在采用深磨加工作业方式进行加工作业时，冷却润滑剂必须完成一次和二次两项任务。所谓的一次任务是指减小摩擦，一方面是要减小砂轮表面颗粒与加工工件之间的摩擦，另一方面要减小加工工件与砂轮结合面之间的摩擦。这里还包括要能够导出加工作业过程中所产生的绝大部分热量。在加工作业过程中，供给砂轮做功的电能几乎 100% 转换成了热。所谓二次任务是指，清洁砂轮和工件，从砂轮和工件之间的接触区将加工产生的刨屑输送出来。此外实现对机床和工件的锈蚀保护也属于所谓的二次任务。



图 1 传统的自由喷射喷嘴常常能够满足深磨加工作业的冷却条件要求

在进行深磨加工作业时，圆周速度低会起着正面作用，与摆式磨加工方法相比，在进行深磨加工作业时，冷却润滑剂的流动速度较低能够帮助达到砂轮与工件之间的接触区的最佳冷却效果。而相反，如果砂轮与工件之间的接触区较大，那么冷却润滑剂则难以接近到砂轮与工件之间的全部接触区。在此，对于冷却润滑系统便存在着一个挑战，要求较高的磨床心轴功率产生高能，且要求工件深磨加工产生的刨屑体积要较大。根据热输送、刨屑体积和工件表面形状的诸多因素对深磨加工所产生的作用和影响，操作人员可有针对性的选择冷却润滑剂喷嘴的类型和冷却润滑剂使用

量。通常采用自由喷射喷嘴便能够满足加工作业时的冷却和润滑条件要求，这样的喷嘴能够根据冷却和润滑使用量和工件外形几何尺寸作精准调节，从而实现与冷却和润滑使用量以及工件外形几何尺寸之间的精准匹配（图 1）。如果冷却和润滑的需求量大，则会导致加工作业的成本大幅度提高。

采用针阀调节喷嘴可与工件外形几何尺寸实现匹配。在工件的外形几何尺寸复杂以及加工不同外形的工件时，使用针阀调节喷嘴具有很大优势。较低的出口横截面积在较高速度时单位电流减少，从而降低能源消耗。断面成型喷嘴是进行型材深磨时的合适选择。由于在加

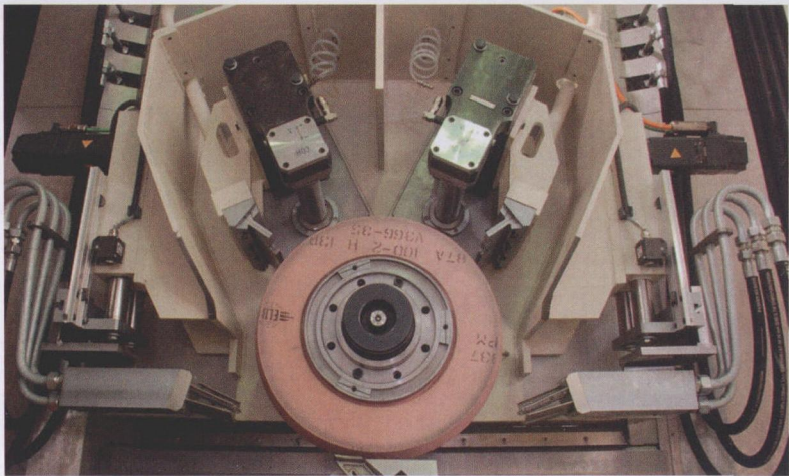


图 2 在大多数情况下调节砂轮与有效作业时间并行

工作中，砂轮的直径因磨耗处于变化状态，这样，安装在 NC（数字控制）磨床轴上的断面成型喷嘴可根据砂轮直径的变化进行自动跟踪调整。

造出理想的砂轮表面

调节系统的任务是，造出理想的砂轮表面。与摆式磨加工方法相比，采用深磨加工作业法进行加工作业时，生产过程窗口较小。因此，有可能出现的错误将会对加工作业产生较大影响。调节系统的调节对策与深磨加工作业生产过程和砂轮密切相关，同时也影响着磨床刀具的消耗和调节辊的磨损。对调节系统的调节对策的进一步影响因素是成形辊或异形辊和调节时间点。例如，调节时间点是持续性时间调节点或是间歇性时间调节点。对于磨削系统来说，则要求选用有效时间并行时间调节点。转动的圆形或月牙形刀直径为 1200 mm，这种刀可在食品制造业中使用，例如在面包、肉类和西红柿加工企业中使用。这种刀由不同材料制成，其周边几何形状也不尽相同。刀的一部分周边几何形状为键槽形。刀的其他部分的厚度和刀刃都很小。

有这样一家加工制造生产厂家，起先在加工此类刀时采用摆式磨加工作业方法，使用的是罐形砂



图 3 在加工食品加工行业使用的圆形和月牙形刀时，调整深磨加工方式，每把刀的加工处理时间缩短了 30%~50%



图 4 在进行涡轮叶片加工时，通常要求必须测量每个加工面，并将测量结果记录在案，形成文件

轮。后来，这家加工制造生产厂家改用深磨加工作业方法。新的深磨加工作业研磨系统的切削（或切割）速度很低。因为正在加工的刀很薄，其厚度最大为 0.2 μm，这就排除了在研磨加工作业中所产生的热会损坏正在加工的刀。由一个成形辊来间隙性的调节砂轮，或是采用 CD（更改指令）方法来调节砂轮（图 2）。而且在加工不同的刀时，所使用的研磨系统可灵活的转换过渡。采用新的深磨加工作业研磨系统后，该加工制造生产厂家每把刀的加工处理时间缩短了 30~50%（图 3）。

以前，带锯锯条是采用铣加工作业方式进行加工的。有一生产厂家希望既提高带锯锯条加工生产率，又能使带锯锯条的使用寿命得以延长，并且使用的加工材料不变。这样，该生产厂家便面临着一个挑战：调质处理的精炼钢带作托架，钎焊的硬金属片作刀刃。10~15 根垂直设置的带锯锯条组成宽为 100 mm 的一捆。使用深磨加工作业方法进行加工作业，一个作业行程便能加工出这捆带锯锯条的齿高，同时磨床的心轴驱动系统的功率为 250 kW。砂轮在短短的几秒钟内便能同时研磨好这最多 15 根带锯锯条。该磨床采用 CD（顺次修整）方法来调节直径为 500 mm 的砂轮。该带锯锯条深磨加工作业系统由 3 台磨床和一个中央润滑剂供给与处理装置

组成，该套设备的总价值约为 300 万欧元。

一台磨床可实现 16 种操作

涡轮叶片的几何形状特别复杂。每个涡轮叶片的部分部位须加工成多个 3D 面。因此，采用磨加工作业方式加工涡轮叶片时必须能够设置不同的加工对策。最佳的加工对策的选择主要取决于涡轮叶片加工的批量大小（图 4）。如果加工批量小则推荐使用在一台磨床上进行整体加工，该磨床最多可相继实现 16 种作业操作。因此，操作人员在加工作业时需使用不同的涡轮叶片夹紧装置，同时，根据加工作业的需要使用不同的砂轮。

如果涡轮叶片的加工批量大，则推荐使用由多台磨床组成的加工单元进行加工作业。例如，开始加工作业时可使用若干台 5 轴磨床，由机器人和传送带自动输送工件和砂轮。如果使用双心轴磨床用深磨加工作业方法在涡轮叶片的底部加工出柯曼式形状（松树式形状），则需使用若干台 3~5 轴磨床，且使用不同的夹具、一个接一个的相继进行其他几何形状加工。对于飞机涡轮叶片的加工要求是，每个加工的面均须进行测量，并要求将测量结果记录在案，形成文件。为了确保加工过程的合理性并提高生产率，可分派每台磨床和测量装置可承担加工作业流程。检测的结果同样用于磨床的校正。MM