无人化加工

通过熄灯制造获得利润

各种工装考虑有助于获得更大的利润。

更多精彩请扫描二维码

文 | Cullen Morrison

所有制造操作都有固定和可变成本，并且固定成本通常占据一大部分。固定成本包括建筑物、设备以及其所使用和维护公用设施的资本费用。然而，劳动力是固定成本中最大的组成部分，并且减少每个零件单位成本中的费用量则是熄灯制造的焦点。

另一方面，可变成本包括用于工装和材料成本。材料成本可以通过明智地选择原料大小和类型以及通过减少废料量来进行管理。工装通常为成本最低的领域之一，通常约为零件总成本的 3%。然而，工装还可以是该工艺中最具动态性的部分，因为其可以减少或增加其他领域的成本，包括材料和劳动力。

这就是为什么工具的直接成本很少像工具那样重要的原因。如果降低切削工具的直接成本对工艺性能产生负面影响，那么在其他领域所增加的成本将很容易克服，使用不太昂贵的工装所节省的费用。相比之下，加工每个零件总成本的显著节省，可以帮助机床厂实现熄灯制造。

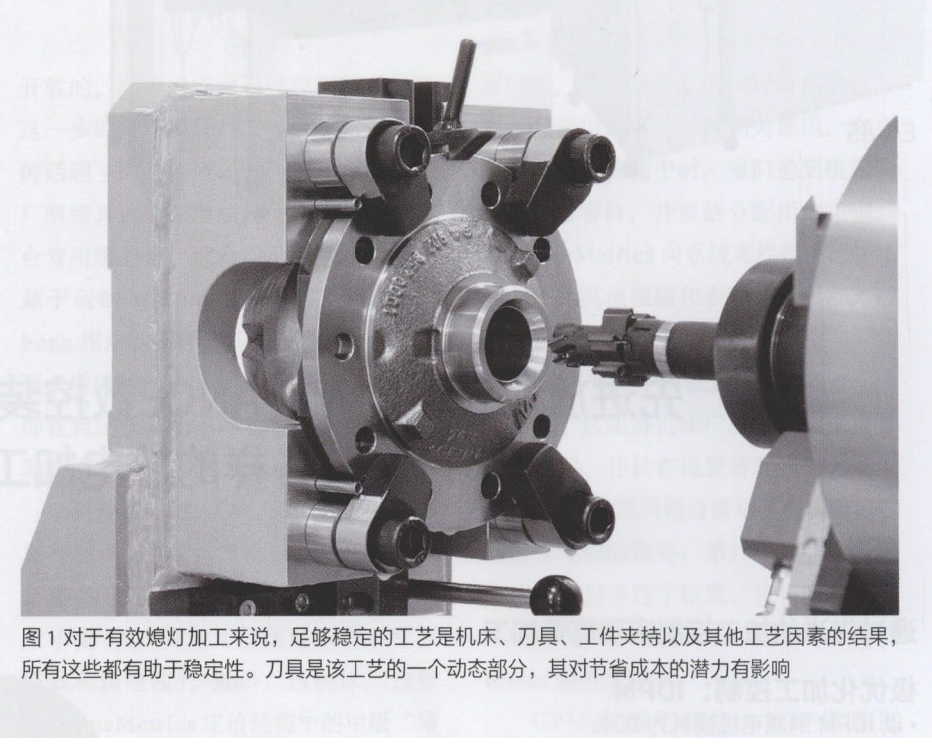

图 1 对于有效熄灯加工来说，足够稳定的工艺是机床、刀具、工件夹持以及其他工艺因素的结果，所有这些都有助于稳定性。刀具是该工艺的一个动态部分，其对节省成本的潜力有影响

稳定性

为实现真正无人值守的制造操作，关键在于工艺稳定性。稳定操作将产生一致数量的零件、循环后的循环。如果无法维持稳定的工艺，那么试图运行熄灯也是徒劳的。需要操作员来监控系统，并且在问题出现时将其解决，从而增加劳动力和工装成本，并且由于废弃零件和机床损坏可能会增加材料和维护成本。这种稳定性不仅仅是工具选择的结果，而且是系统每个零件一起工作的结果。在一个领域中出现的问题，比如未固定好或者冷却剂供应不一致，都可能显示为难以预测或控制的刀具破损。

也许在创建稳定加工工艺中的最重要因素，就是优化切削条件。对切削工具进行设计，以便在向对于切削刃负载（由进给率产生）以及切削刃处温度（由速度产生）的特定范围条件下进行。使用太慢或太快的参数对工艺稳定性具有同等的负面影响，因为它们对刀具使用寿命、切屑排出和

零件质量以及其对刀具故障等产生了影响。

例如，高性能丝锥是经常以比设计时低很多的速度加工，通常导致刀具破裂并因此导致系统不稳定。例如 Komet 的 Morex R 型碳化物带卷形丝锥，在碳钢中被推荐的表面速度范围达 80 m/min。对于 M10 丝锥而言，攻螺纹速度超过 2500 r/min。假设机床在向孔底减速之前可以以足够快的加速度实现该速度，那么超过该限度的任何速度急剧增加都将导致问题出现，减少刀具寿命和降低螺纹质量，并且避免过早失效。对于同样的应用而言，还建议最小表面速度为 30 m/min，其产生 955 r/min 的攻螺纹速度。另外，如果速度显著降低，那么刀具可能使材料不会产生足够的热量，以形成一致性的螺纹，并且这将导致扭矩过大，甚至破坏丝锥。

同时在使用钻头的情况下，最重要的就是从材料进入或离开时以及切削操作中切屑排出时的稳定性。几乎任何钻头设计都将会产生切屑，但是如果凹槽设计不能充分而一致地从钻尖点排出切屑，那么切屑在凹槽中将变得紧凑，并且钻头将由于扭矩尖峰而断裂。

切屑尺寸和形状则是由钻尖或插件几何形状和进给速度来确定的。可以对给定的凹槽形状进行优化，以处理特定切屑，但是随着进给速度增加或减少，切屑尺寸和形状以及排出这些切屑的需要也会随之增加或减少。因此，重要的是，在其设计进给速率限制中使用该刀具，以确保生产率而不会出现随机刀具故障。

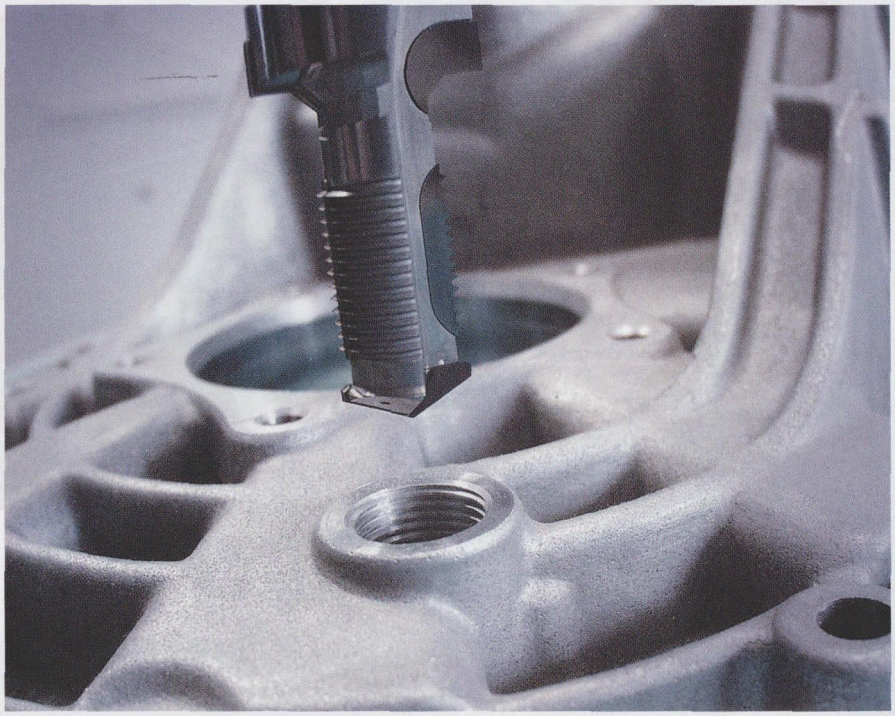

图 2 通过在一个刀具中合并多个切削，组合刀具有助于提高效率和可预测性

所有切削刀具设计也需要与刀架相匹配。当 L:D（长度：直径）比值变化时，稳定的切削条件随之改变。非常关键的其他因素则是工具径向跳动和保持强度。太高的工具径向跳动会降低系统的稳定性。保持强度也是如此。如果对于由切削刀具所产生的作用力不够的时候，则存在刀具拔出的危险。

收缩配合工装系统已经变得越来越受欢迎，因为它们具有这种良好的径向跳动、抓地力以及径向载荷能力。然而，收缩配合并不是刀具夹持系统的“所有结束”。特别是，涉及到 L:D 比值、薄壁部件或弱固定装置的应用，

图 3 Komet 的 Vabos 模块化刀具系统使用了一种可更换中心刀具，刀柄具有可转位切削刃

图 4 在这里还可以看到这样一个系统的硬件。在刀具断裂期间，违反系统的公差限值，触发故障信号

则容易引起颤动或谐波振动。在这些情况下，具有阻尼特性或机构的刀架通常对克服这种振动效应是有效的。

改进和监控

熄灯加工的下一阶段是改进稳定的工艺，以便进一步降低每单位的成本。成功实现这一目标的主要方法就是，通过更快地加工更多零件而不出现故障来提高产品产量。虽然减少非切削时间的机床可以减少周期时间并增加吞吐量，但是更换机床通常是不可行的。因此，下一步就是要查看不同的工具，其可以实现和保持更快的操作参数。差别可以是改进后的设计、涂层、基底或者切削工具的其他特征。或者，它可能是一个完全不同的工具概念。

具体地来说，选择切削工具的一种方法，可以通过使用特殊组合或混合工具来改进整体装置成本。通过使用定制设计的组合工具，可以减少加工特定部件所需的工具总数，还可以减少刀具重新定位周期循环期间中的换刀时间和非切削时间。可以是硬质合金阶梯钻的工具以形成孔、沉孔和倒角，之前该操作采用三个标准刀具。这种刀具还可以是定制的跨接式铣刀，即机床在一个零件多个侧面上立即表现出特征，或者在刀具另一部分用来产生阶梯孔后，通过圆形插入可以形成倒角的刀具。一些模块化刀具系统采用可更换中心刀具，其与可转位或钎焊切割表面的保持器结合，该切割表面产生更大光斑或沉孔特征，否则无法因为直径差异而使用单个刀具设计来完成。组合和定制刀具提供了一种同时提高产量、增加加工系统稳定性和可靠性的方法。

成功和盈利熄灯制造系统的另外一部分就是过程监控。随机故障将会发生，并且它们不会总是被内置于机床的系统所捕获。例如，未检测到破裂的丝锥可能在熄灯换档期间运行数百个或上千个不合格的零件。过程监控系统通过测量由切削在机床上产生的作用力，并且将其与编程标准进行比较来检测诸如此类的故障。如果作用力偏离了给定量的平均值，则可以将该过程编程为停止，同时通知发送给特定人或者替换该问题刀具的备用刀具，使得生产可以继续进行。在丝锥受到损坏的情况下，如果丝锥循环运行并且监控系统没有记录发生该负载所在处的主轴负载，它也可以停止机床，并且调用备用刀具。

事实上，这样的刀具监控系统有助于自动检查。硬质铸件的详细情况可以根据刀具切削时对其负载进行记录和跟踪，这是许多飞行关键部件需要质量保证的考虑因素。因此，监控系统是解决熄灯制造系统潜力的最终方法。

降低装置成本

由于制造部件是由工件固定的，因此以每件为基础来查看成本则是衡量利润的最好方法。在采用熄灯制造的情况下，主要节省则来自于劳动力成本的降低。由于以每小时制造最少或不需要劳动力成本来生产部件，那么提高生产率可以进一步增加该操作的净利润。提高生产率通常可以通过以下一种或几种的组合来进行：编程优化，减少非切削时间的量。更高刀具路径以实现更稳定的切削，例如高速剥离铣削，而非典型全宽铣削。工装优化，提高速度和进给率，以缩短周期时间。使用更坚固的工具设计，可实现更高金属去除率。使用组合工具，减少换刀量和非切削时间。紧固优化，在每个周期紧固更多零件时增加零件密度。确保紧固夹具设计，以满足更坚固和更稳定的切削条件。改进夹具设计，以便通过更短的刀具可以更好地检修零件。机床优化，刀具更换更快，行进速度更快。附加轴减少操作数量。更好地排屑，改进冷却液或最小量润滑（MQL）系统。MM