硬车削

制定有效的硬车削流程

在制定硬车削策略时，冲模或模具工厂已经使用车削代替了热处理后的研磨，从而加快了新拉深圆形模具的生产速度。

更多精彩请扫描二维码

文 | Derek Korn

决定开拓新市场的工厂通常都要增加新的加工设备或采用新的加工工艺支持市场开拓工作。以 True Die 公司为例，它通过制造用于拉深金属板成型的精密圆形模具，迅速丰富了自己的产品种类，从而制定出有效的硬车削策略（图 1）。True Die 公司的主要目标是取消 64HRC 以内硬度的，硬化粉末金属圆形模具的内径（ID）和外径（OD）研磨工序，实现更高的材料去除速率，同时保证加工同心度、表面平整度和尺寸准确度达到研磨工艺的水准。而现在的技术，已经可以确保硬车削直径和半径的准确度达到 ±0.000 2 inch。

图 1 True Die 公司使用硬车削技术生产圆形模具，如图中所示

事实上，位于 Michigan 州 Zeeland 的两家工厂最近新增机床的主要工作就是针对硬车削。Mitch Stahl 是 True Die 公司的技术专家，他和车削协调员 Chris McCleary 带领一个团队制定了工厂的硬车削策略。他将工厂的策略归结为三种相互关联的理念：保证总体工艺的刚度；使用正确类型的刀具；应用合适的切割数据。

这里的关键词相互关联。Stahl 先生坚持认为，只采用其中 1 ～ 2 种理念是不起作用的，所需恰当应对三种理念才能实现有效的硬车削。

圆形模具的机遇

True Die 公司在 2015 年收购一家公司之前，其前身是 Contour 工具和工程公司，拥有设计、加工和组装注塑模具和级进模具的专业知识。公司 10 000 ft² 的工厂内拥有多种加工设备，包括数控加工磨床、车削中心、研磨机及电线和电火花成型加工设备。

True Die 公司的董事长 Brian Brown 表示，拉深金属成型工业为工厂提供了一个开拓多样化新市场，补充其他市场的机会。“我们应用拉深冲压的专业知识，从而成为了一家特别的模具供应商，将具体方案和更高性能的工具带向了市场。”Brown 先生说，“我们拥有超过 100 年的拉深冲压设计、开发和生产经验，可以充分理解行业的独特要求。”

最初，Contour 只生产塑模和冲模。与拉深冲压公司和另外两个提供多种产品和快速增长机遇的客户建立战略合作伙伴关系后，工厂通过成立 Brown 先生所说的“零件定制部门”很好地完成了产品的生产。

该部门负责为新增和已有的拉深模具和自动化组装设备提供单独的部件。事实上，定制零件产品目前占工厂销量的 50%，而公司在进入细分市场后的两年里业务已经增长了近 700%。

圆形模具用于制造复杂的级进和拉深冲模，这些冲模用于加工金属板（通常为不锈钢材料）部件（如圆柱形部件），主要应用在汽车行业，例如燃料、刹车和安全气囊系统的部件。“我们最初认为需要购买一个性能更好的圆柱磨床才能实现规定的圆形模具容差和平整度。”Brown 先生说。“然而，Stahl 先生依据他的硬车削经验，建议采用硬车削工艺可以实际达到工具要求的精度，并实现比磨床更高的产量，因为硬车削的材料去除速率更高。另外，我们还可以在硬化材料上高效车削出复杂轮廓，而磨床加工复杂轮廓成本高昂，可能需要采用成型磨削操作。”

由于 True Die 公司是一个专业加工车间，它的每批圆形模具数量很小（通常为 1 ～ 6 个），而产品种类很多。模具长度可达 20 inch，直径从 0.1 ～ 12 inch 不等，所以很多产品的长度直径比（L:D）较高。

工厂主要使用粉末金属合金棒料生产圆形模具，粉末金属合金棒料由各种金属和合金元素颗粒组成。粉末金属“混合物”压缩成工厂最初加工的柔软“未硬化”棒料，加工后进行热处理，将单独的颗粒粘合在一起，形成硬化部件。具体粉末金属合金，模具在未硬化状态下的硬度基本可以忽略，可以使用传统的车削方法进行有效加工。然而，热处理之后，模具的硬度可以达到 64 HRC。工厂加工的常见粉末金属钢包括 CPM 3V、9V 和 10V 以及 M2 和 M4。

True Die 公司对未硬化状态下的模具进行车削后通常会留出约 0.010 ～ 0.012 的余量，方便后期进行硬车削。对于热处理后可能严重弯曲的零件，如 L:D 比例较高的零件留出的余量可能更多。如果弯曲严重，那么主要问题就不是满足尺寸容差，而是满足严格的同心度容差要求。“将弯曲的零件拉直有时候比改变零件尺寸更难。”Stahl 先生说。

图 2 这两个 Mazak Quickturn Nexus 型设备主要用于硬车削。它们的混合滚子导轨系统提供了硬车削加工所需的刚度

刚度、刀具和切割数据相互关联

True Die 公司为了进行硬车削而购买的两台最新车削中心都是 Mazak Quick TurnNexus 250 II 型，带有 12 站的转台（都没有新型模具站）。第一台机床购买于 2016 年 4 月，而第二台购买于 2016 年 8 月，它们都能实现工厂为硬车削工艺奠定基础所需的刚度，Stahl 先生表示（图 2）。

Mike Utter 是将机床提供给 True Die 公司的机床经销商，Addy 机械公司（位于 Michigan 州 Grand Rapids）的代表，他认为他们的混合滚子导轨系统对于提高刚度发挥了主要作用。他表示：“滚子比球轴承的表面接触更充分，但摩擦比滑动轴承要小。系统还能有效控制重载和量，因为滚子的弹性形变较小，可以提供较高的阻尼性能，延长了工具寿命。它还采用了 X 型设计，将载荷高效分散到 4 个方向——径向（顺时针和逆时针）、反径向和侧向——从而减小了做转弯运动时的逆转误差。”另外，与使用皮带驱动主轴的机床相比，这些机床使用的集成式主轴电机可以在重载荷切割过程中提供更好的同心度。

Stahl 先生说，这与在硬车削过程中考虑工件夹持和刀具刚度同等重要。为了解决前一个问题，工厂使用筒夹代替了夹钳，增加了棒料的表面接触面积（图 3）。“另外，平行夹持更容易实现，因为使用筒夹时不存在夹钳升降。”Stahl 先生表示，“所有接合面必须洁净，包括工件、筒夹和主轴端部。”

True Die 公司在 Nexus 机床（以及工厂内的很多其他车削中心）上使用 Hardinge FlexC 快速更换筒夹，将总指示偏差（TIR）控制在 0.000 4 inch 以内。与传统的夹钳夹头相比，FlexC 还缩短了设置和转换时间（图 4）。该系统使用主轴安装结构、筒夹头和手动扳手，扳手可以释放触发器，在机床夹头处于非夹持位置时手动安装或改变筒夹头。

筒夹头由硬化钢块组成，钢块采用硫化工艺连接起来。由于没有筒夹柄，各段筒夹与棒料保持平行。平行夹持可以减少棒料“回退”，并降低与传统筒夹实现相同的夹紧性能所需的牵引力。系统能够容纳直径达 3.25 inch 的棒材，而一个典型 FlexC 筒夹的夹持范围是标称尺寸 ±0.020 inch，可以容纳棒料尺寸变化，而不必更换不同尺寸的筒夹。工厂使用标准的三夹头和六夹头夹钳来夹持直径超过 3.25 inch 的工件。

为了确保刀具的刚度，必须将刀具放置在正确的工具中心高度上，McCleary 先生说。“偏离中心 0.002inch 可能会导致颤

动和振动，而且，工件直径越小，工具中心高度越重要。”这是因为，与工件中心的距离相同时，发生错误的概率随着工件直径减小而增加。

减少刀夹支持和悬挂的刀具。通常，使用尾座时决定因素是刀具的外径车削间隙，而进行内径钻孔时决定因素是孔的深度。“如果悬挂导致发生振动，第一步是修改速度和进给率。”McCleary 先生说，“下一步是考虑不同的刀具刀片的刀尖半径或刀刃。”

在几乎所有情况下，True Die 公司基本使用 Sumitomo 生产的立方氮化硼(CBN)刀具进行硬车削。工厂发现加工很硬的材料时，CBN 刀具比陶瓷刀具更耐用，可重复使用并且可以使用冷却剂。需要权衡的因素是 CBN 刀具成本比陶瓷刀具要高。工厂通常使用 Sumiboron BNC200 涂层刀具进行连续切割，使用 BNC300 涂层刀具进行间断切割（约 25% 的圆形模存在间断切割）。这些刀片可以很好地平衡刚度和耐磨性，并且采用了氮化铝钛（TiAlN）涂层。

True Die 公司使用 25 ～ 80° 的菱形刀片（几何形状通常为负几何图形）和半径为 0.004 ～ 0.031 inch 的刀尖。55° 的刀片常用语车削外径，使用 0.030 inch 半径的刀尖进行粗加工，0.015 inch 半径的刀尖进行精加工。更坚固的 80° 菱形刀片用于完成频繁中断的切割。对于钻孔操作，工厂通常使用 80° 的正几何图形刀片完成。

McCleary 先生说，选择负或正几何图形时要正确权衡利弊。“我们发现，负几何图形的刀片比正几何图形刀片更坚固，而且可以快速翻转，提供 4 个可用的刀刃。”他说。然而，这些刀片产生的切割压力更大，提供的空隙较小。正几何图形刀片切割更加自由，空隙更大，但刀刃切割能力较弱。

在切割数据方面，True Die 公司没有每种硬车削应用的可靠数据值，因为数据随材料、硬度、工件 L:D 值、切割条件等而变化。工厂对于硬度很高的材料进行频繁间断的加工时切削速度可能只有 150sfm，而对于硬度等级最低的柔软材料，切削速度可能高达 550 sfm。

Stahl 先生说，工厂在精加工中常用的切削深度（DOC）是 0.003 ～ 0.004 inch，但刀具负责人代表建议 DOC 至少应为刀具的刀尖半径。然而，True Die 公司已经发现，在相同情况下，如果工件的 L:D 比例超过 20:1，更深的切割压力会明显增加工件弯曲程度，导致工件无法满足容差要求。这种压力甚至可以在零件内部产生应力，导致零件弯曲。

留出 0.010 ～ 0.012 inch 棒材，待热处理后再去掉，这样就可以保证三道硬车削工序的 DOC 约为 0.003 或 0.004 4 inch。如此一来，每道工序的刀具压力都相同。

图 3 FlexC 系统加速了向加工新尺寸棒料的转变，并在筒夹和棒料之间提供了足够大的表面接触面积，确保了刚度

图 4 True Die 公司使用 Hardinge FlexC 快速更换筒夹系统对直径达 3.25 inch 的工件进行硬车削

“如果之前的零件按照规范进行车削，则操作人员应该能够根据去除的总棒材量将刀具退回原位，而这一过程中刀具只会去掉零件的残渣。”Stahl 先生说，“之后，通过第一道工序提供理想的工件测量表面，通过第二道工序进行测量，确保加工操作重现，然后通过最后一道工序将工件加工出最终的尺寸。”

工厂按照这种方法使用刀具，直到停止重复进行。发生磨损是正常现象，在意料之内，只要刀片的磨损量可重现，就能对磨损进行控制。然而，如果当前刀刃不再重复之前的切割操作，则必须更换刀片或调节新的刀刃。

除了间断切割外，工厂在所有情况下几乎都要使用冷却剂。使用冷却剂的目的不是冲洗碎屑或进行润滑，而是冷却零件。“我们有时会直接让冷却剂从惰性尖端流下，有时会加在零件的另一面。”McCleary 先生说，“高硬度粉末金属材料在硬车削过程中会产生大量的热，热量产生的热膨胀可能超出我们的允许容差。另外，如果不使用冷却剂，操作人员必须在硬车削之后，测量之前对工件进行冷却。使用冷却剂让我们可以随时测量零件。”工厂进行间断切割时不适用冷却剂，否则可能使刀刃过热开裂。MM