

干式加工技术在轨道车辆制造中的研究与应用

■ 唐山轨道客车有限责任公司制造技术中心（河北 063035） 鲁 祥

摘要：本文阐述了干式加工的概念，分析了干式加工具有的特点，研究了干式加工对刀具、机床、加工方法的具体要求，并在高速动车组车体加工和铁路客车转向架加工中进行了具体应用，效果良好。

1. 问题提出

干式加工是一种在加工过程中不使用切削液的加工方法，干式加工是未来金属切削加工发展趋势之一。近年来，许多国家特别是工业发达国家，非常重视干式加工，更是大力研究、开发和实施这种新型加工方法。究其原因，一是在许多年前，切削液非常便宜，在大多数加工过程的成本中，其所占比例不到3%，以至没有谁会对干式加工多加注意。可是，随着加工成本结构的变化，切削液在切削加工成本中所占比例上升为16%（见图1）。二是切削液的排放污染环境，环保部门要监控这些混合制剂的处理，增加了处理成本。而且，许多国家和地区也把它们归为危险废物，如果其中含有油和某些合金，还要采取更为严格的控制措施。因此，越来越多的厂家开始采用干式加工。因为环境问题和资源问题是当今和未来人类社会面临的主要问题，特别是环境问题对人类的危害越来越大，制造

业是产生环境污染的主要根源。如何使制造业尽可能少地产生污染，提出了“绿色制造”这一概念，干式加工就是“绿色制造”方法之一。越来越多的厂家开始研究并采用干式加工技术，并取得了良好的效果。基于我国环保与机加工成本现状，开展干式加工技术研究，已迫在眉睫。

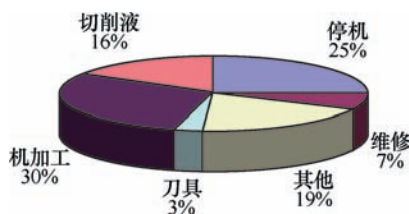


图1 切削液所占费用比例

2. 干式加工概述

干式加工就是在加工过程中不用切削液的加工工艺，这种方法从原理上讲并不新，且已在生产中有较长时间的应用（如铸铁的干铣削等），但其内涵却与以往有很大不同，因为这里的干式加工已不仅仅局限于铸铁材料的加工，而是力图在所有材料及所有加工方法中均采用干式加工。就目前来看，干式加工范围还较

为有限，但其研究和应用已经成为加工领域的一个新热点。下面简介干式加工具有的特点：

（1）经济方面。据德国许多公司的计算资料表明，使用切削液的费用约占总成本的16%，而切削刀具消耗的费用仅占制造成本的3%~4%；美国Balyers刀具涂层公司也做了这方面的统计，结果切削液消耗是刀具费用的3~4倍。干式加工切屑易于回收和处理，省去了切削液传输、回收、过滤等装置及相应的费用，省去了切削液与切屑的分离装置及相应的电气设备；同时机床结构紧凑，减少占地面积；简化了生产系统，降低了生产成本。

（2）环境方面。采用湿式加工，长期暴露在空气中的合成切削液，对操作者的健康会造成损害，也会造成工作场地局部环境污染（水、气和土壤等）。干式加工切屑干净、无污染。

（3）干切削加工方法有很多种，如干车削、干铣削、干钻削、干式螺纹加工及干式齿轮加

工等，干式加工不会产生与切削液有关的安全事故及质量事故。由于刀具切削材料的改进和涂层的应用，使得干式加工在机械制造领域变为可能，在机械加工行业采用干式加工，不但对环境有利而且还能降低制造总成本。

3. 刀具、机床、工艺方法的选择研究

(1) 适合的切削刀具。干切削加工就是要在没有切削液的情况下，创造具有与湿切削相同或相近的切削条件。因此，对刀具提出了更高的要求，干式加工刀具除要有普通刀具的基本性能外还要具有下列特殊性能。

干式加工刀具具备的性能：

① 刀具应具有优异的耐高温性能，切屑和刀具之间的摩擦系数要尽可能小；干切削加工时，在切削区产生的高温造成化学不稳定性，刀具与切屑之间的摩擦增大，排屑速度减慢，极易产生积屑瘤，加剧刀具磨损。② 刀具的结构要能快速排屑，为了保证工件加工质量和刀具寿命，要求刀具具有良好的排屑结构，能快速排出切屑，使传入工件和刀具的热量大大减少。③ 刀具应有更高的强度和耐冲击韧性。

刀具的结构、材料和刀具涂层对干式加工的影响：刀具的几何角度和参数。干式加工刀具通常以月牙洼磨损为主要失效原因，其是加工中刀具与切屑接触区域的温度升高所致。为此，应使刀具具有大的前角和刃倾角。但前角增大后，切削刃强度会受影响，因此应配适宜的负倒棱或前刀面加强单元（刀尖圆整），

使刀尖和刃口有足够体积的材料和较合理的方式承受切削热和切削力，减缓冲击和月牙洼扩展，使刀尖和刃口可在较长的切削时间里保持足够的强度。此外，配合合适的刀尖前角和刀尖后角，可使刀具刃口楔角增大，减少刀具与已加工表面之间的接触长度，有效降低后刀面的磨损和破损几率。

刀具材料：目前的刀具材料，如高性能硬质合金、聚晶陶瓷和CBN等，有足够的耐高温磨损性能，能够在干式加工条件下使用。实践证明，尽管在干式加工中还不能将切削区产生的热量完全随切屑排出，但只要合理选择刀具几何形状、切削参数，使绝大部分切削热随切屑排出，就可取得良好的加工效果。干加工时，刀具切削材料最重要的是耐高温性。目前适用于干式加工的刀具材料有超细颗粒硬质合金、CBN、PCD、陶瓷、金属陶瓷和金刚石等。

刀具涂层：刀具材料可通过涂层处理，涂层的作用就像一层热屏障，因为它有比刀具基体和工件材料低得多的热传导系数。实现“固体润滑”，减少摩擦和粘接，刀具吸收热量较少，能承受较高的切削温度。涂层在干式加工中有几种功能：将刀具和切削材料隔离，减少摩擦、隔热；涂层在切削过程中的作用如同在刀具与切屑之间增加了一道力和热的隔离层，可阻止将热量传递到刀具基体，因而能保证刀具切削刃锋利，使切削刃硬度不会很快下降，可大大提高其耐高温性能；它们通过抑制从切削区到

刀片（刀具）的热传导来减缓温度的冲击。除刀片有涂层外，也可在高速钢、硬质合金基体上进行适宜的涂层，如TiAlN涂层、TiCN涂层、TiAlN+MoS₂涂层、类金刚石DLC（Diamond-Like-Carbon）涂层等，它们的性能对比如图2所示。因此，刀具表面有涂层，可减小切屑和刀具之间的摩擦系数。

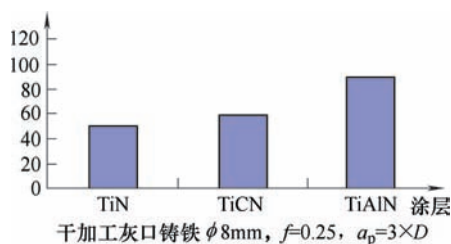


图2 涂层TiAlN、TiN和TiCN的性能比

刀具寿命的选择原则：在干式加工选择刀具时，应首先选择合理的刀具寿命，而合理的刀具寿命则应根据优化的目标而定。一般分为最高生产率刀具寿命和最低成本刀具寿命两种，前者根据单件工时最少的目标确定，后者根据工序成本最低的目标确定。

选择刀具寿命时可考虑：根据刀具复杂程度、制造和磨刀成本来选择。复杂和精度高的刀具寿命应选得比单刃刀具高些；对于机夹可转位刀具，由于换刀时间短，为了充分发挥其切削性能，提高生产效率，刀具寿命可选得低些；对于装刀、换刀和调刀比较复杂的多刀机床、组合机床与自动化加工刀具，刀具寿命应选得高些，尤其应保证刀具可靠性。

综上所述，选择刀具寿命时应在刀具几何角度、材料和涂层各方面综合考虑，且由于加工工

件材料的不同，选择刀具的几何角度和涂层也不同。

(2) 适应干式加工的机床。采用干式切削加工时，选定正确的机床和恰当的装备是很重要的。对于加工速度快、材料较硬或特殊的工件，干式切削加工时切削温度很高，机床必须刚性足、功率大。

在加工中心上进行干式切削之前，操作者应该尽量保持工具伸出长度较短，主轴是处在刚度最佳的情况下，还要考虑机床的速度、额定功率。

刀具主轴尽可能对着机床刚性强的方向进行加工，这个方向的长导轨能把切削力分散。比较好的机床，能直接在短导轨上分散这些切削力，机床刀轴由最少的零件组成，却能移动和支撑刀具。在相对于柔性更重视精度时，则应该考虑用热缩刀具，刀具和刀柄变为一体，以增加机床刀轴的刚性。

热稳定性对机床精度是非常关键的。一些制造商采用软件提高了其加工中心的精度，这些软件补偿了温度的影响。然而，控制温度应该从有效地排除热切屑开始，因此要排除密封的工作区内部重要的热源。

选择机床时要考虑热稳定性对机床的影响，机床招标前选型时就要考虑这些因素，对中标的机床方案审核时，机床里不能有那些能聚集切屑的洼坑和高台，要用排屑器尽快将切屑排出机床外，而不用切削液协助冲走。

(3) 恰当的工艺方法。不同的机床有不同的加工方法，数控

机床加工工艺和卧式机床加工工艺有着明显的不同，主要表现在加工工艺路线上。

数控加工工艺路线与通用机床加工工艺路线不同，主要区别在于它不是指从毛坯到成品的整个工艺过程，而仅是几道数控加工工序。

对于动车组车体铝合金零部件加工，一般是从型材或焊接型材到成品，由数控机床一次加工完成；对于复杂的零件，一般是粗加工或不重要尺寸的工序放在卧式机床上，而复杂、精度高的尺寸放在数控机床上加工，如铝型材下料采用锯床等。

因此在工艺路线设计中一定要注意，由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中，因而要与其他加工工艺衔接好，如在CW-200K转向架的构架加工中就是数控机床和卧式机床混合使用。

其次，选择合理的切削三要素是干式加工优先考虑的因素之一，切削参数（切削深度、进给速度、切削速度）其数值选择的合理与否，对于干式加工质量、加工效率、生产成本等有着非常重要的影响。

所谓“合理的”切削三要素是指充分利用刀具切削性能和机床动力性能（功率、转矩），在保证质量的前提下，获得高的生产率和低的加工成本的切削用量。

4. 干式加工的实际应用

(1) 在铝合金车体零部件加工上采用干式加工技术。在实际加工中就是将压缩空气和少量

润滑油雾混合气化后喷射到加工区，对刀具与工件之间进行的加工部位进行润滑，其效果十分明显。既满足了加工的要求，又使与切削液有关费用降至最低，并取得了很好的效果。刀具、工件和切屑必然是干燥的，干式切削技术只要使用适当，就可避免切削液的处理过程。

由于铝合金车体大部件长达25m，而且是型材组成，内有许多空腔，不可能进行清洗。使用干式加工可解决该问题。目前，铝合金车体总成、底架、侧墙、地板、边梁、底架前端和端墙等大部件已完全采用干式加工。

(2) 在转向架重要部件构架上采用干式加工，经过干式加工试验（铣梯形槽特殊工序除外），效果很好，减少了切削液污染。由于切削液含有防腐剂，粘到工件上很难去除，影响表面油漆质量。采用干式加工后，该问题迎刃而解。目前，转向架的构架加工全部采用干式加工法。

经过干式切削试验，干式加工操作成本也是比较低的，因为它避免了切削液的管理和处理费用，其次是压缩空气耗电比冷却泵耗电要少。

5. 结语

节约资源、降低能耗和保护环境是世界各国的共同呼声，干式加工技术是绿色制造技术之一，是世界工业发展的潮流和趋势。因此，推广干式加工技术在机械工业中的应用是当务之急，干式加工技术的应用会越来越广泛。MW

(收稿日期：20151020)