基于切削仿真技术的桃形刀片钝角刀尖车刀设计

薛飞[1]，黄忠[2]，孙云峰[1]，王冬[1]
1．上汽大众汽车有限公司　上海　201805
2．上海电机学院　上海　201306

摘要：通过切削仿真对比研究了桃形刀片钝角和锐角刀尖在相同切削参数下，桃形刀片钝角刀尖在不同进给量和背吃刀量下的切削温度和切削力的情况，为桃形刀片钝角刀尖的切削运用提供了参考。

关键词：桃形刀片；废角利用；切削温度；切削力

1　序言

为适应机械加工行业高自动化、高速加工的需求，普遍采用机夹式可转位涂层硬质合金车刀片进行加工。因为硬质合金成本高，可转位刀片的刀尖切削磨损后就被丢弃，所以提高可转位刀片的利用率不仅能够降低企业生产成本，而且能减少钨矿开采过程对环境造成的污染，具有重要的现实意义。

2　问题提出

为了加工出轴类机械零件垂直于外圆的台阶端面，必须用刀尖角＜90°、主偏角＞90°的车刀加工。桃形刀片具有3个80°的锐角刀尖，与菱形刀片的2个80°锐角刀尖相比，桃形刀片具有良好的经济性，是目前使用最广泛的可转位车刀片，实物如图1所示。桃形刀片还具有3个刀尖角为160°的钝角刀尖，受刀尖角限制，钝角刀尖可设计成主偏角15°、负偏角5°的车刀，如图2所示。

图1　桃形刀片

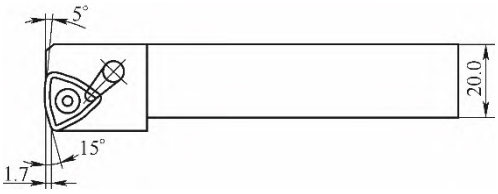
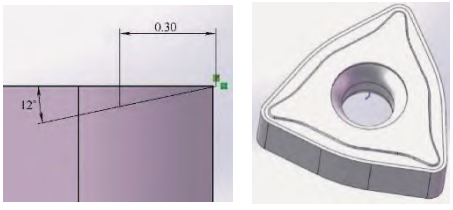


图2　钝角刀尖工作角度

本文以WNMJ44刀片为例，通过有限元分析模拟钝角刀尖的切屑及排屑情况、切削温度和切削力，并对切削性能进行分析[1]。

3　刀片建模过程

WNMJ44刀片是以英制（ANSI）车刀片命名的桃形车刀片牌号。前4位字母与国际单位制（ISO）命名规则相同，分别代表刀片形状、法后角大小、刀片制造公差和刀片螺栓孔形式，第5位和第6位分别代表刀片内切圆直径和刀片的厚度，详见英制标准规定。依据刀片尺寸绘制草图拉伸，再选取切削刃上一点建立垂直于切削刃的基准面，绘制刀具前角辅助线，选取辅助线上非切削刃端点的一点建立平行于刀片上平面的基准面，使用放样切除功能绘制出刀片前刀面，如图3所示。



a）二维图样　　b）三维示意

图3　刀片前刀面

4 仿真边界条件设置

在仿真软件前处理界面选用车削仿真模块，刀片材质选用硬质合金，工件材质选用45钢，摩擦因数、导热系数以及初始温度均选用默认参数。工件设置为塑性体，使用相对网格划分方式，网格大小设置为进给量的15%。其中锐角刀尖设置为主偏角95°，副偏角5°，钝角刀尖设置为主偏角15°，副偏角5°，锐角刀尖和钝角刀尖的背后角、侧后角均为5°。

分别设置4组不同的切削参数，采用控制变量法进行分析[2]。其中，A组与B组切削参数相同，仅刀尖角不同；B组与C组刀尖角度相同，仅进给量不同；B组与D组刀尖角度相同，仅背吃刀量不同，具体参数见表1。

表1 切削参数

序号	刀尖角/（°）	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	材料去除率对比
A组	80	80	0.8	0.3	1倍
B组	160	80	0.8	0.3	1倍
C组	160	80	0.8	0.6	2倍
D组	160	80	1.2	0.3	1.5倍

5 仿真结果分析

5.1 相同切削参数不同刀尖角度的对比

根据A组与B组的仿真结果可以发现，当切削速度、进给量以及背吃刀量相同时，锐角刀尖的切削变形区域由于存在横向切削速度差异，导致切屑厚而窄，呈螺旋形卷曲，而钝角刀尖的切削变形区域横向切削速度差异较小，导致切屑薄而宽，切屑呈现c字形，如图4所示。

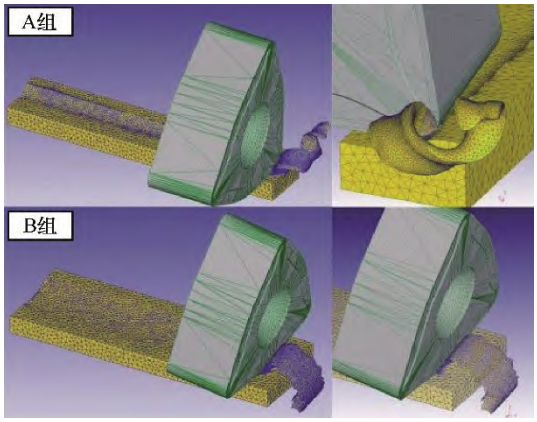
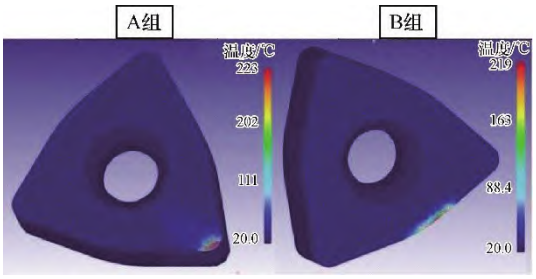


图4 A组锐角与B组钝角的切屑情况对比

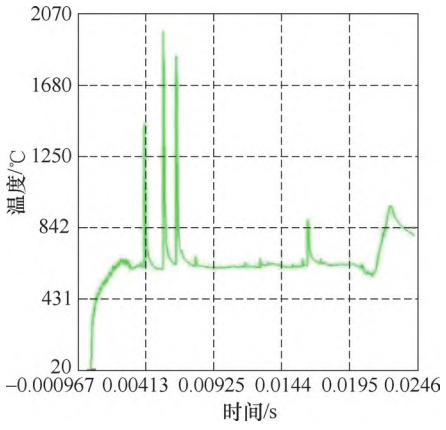
从刀尖温度分布云图可以看出，锐角刀尖温度主要集中在刀尖，钝角刀尖温度分散在切削刃部位，如图5所示。从工件的温度变化曲线可以看出，锐角刀尖的平均切削温度是630℃，钝角刀尖的平均切削温度是510℃。这是由于锐角刀尖与切屑的接触面积小，切屑和工件散热慢，钝角刀尖与切屑接触面积大，切屑和工件散热快[3]，如图6所示。由切削温度与刀具磨损成正比，可以推断钝角刀尖的寿命高于锐角刀尖[4]。

切削力是校核机床功率、机床进给机构强度和

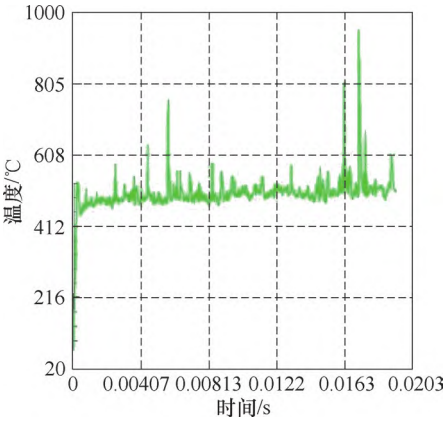


a）A组锐角温度分布　　b）B组钝角温度分布

图5 锐角及钝角温度分布



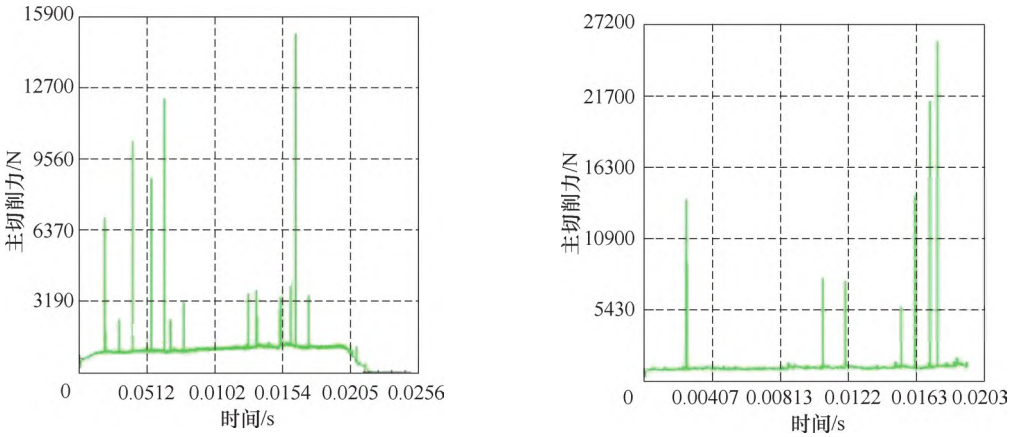
a）A组温度曲线



b）B组温度曲线

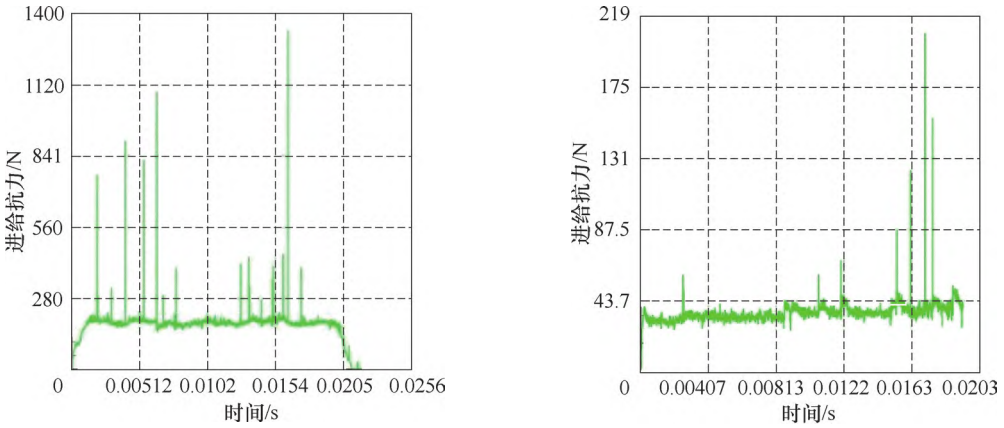
图6 锐角与钝角切削温度对比

设备刚性的重要依据[5]。根据A、B组切削力仿真数据曲线可以看出，锐角刀尖的主切削力为1110N（见图7），钝角刀尖的主切削力为1040N，说明在切削参数相同的情况下，锐角刀尖与钝角刀尖的主切削力相当。如图8所示，锐角刀尖的进给抗力为192N，钝角刀尖的进给抗力为35.7N，说明在切削参数相同的情况下，锐角刀尖的进给力是钝角刀尖的5倍，原机床进给系统强度和功率适用于钝角刀尖。锐角刀尖的径向力为350N，钝角刀尖的径向力为300N（见图9），说明在切削参数相同的情况



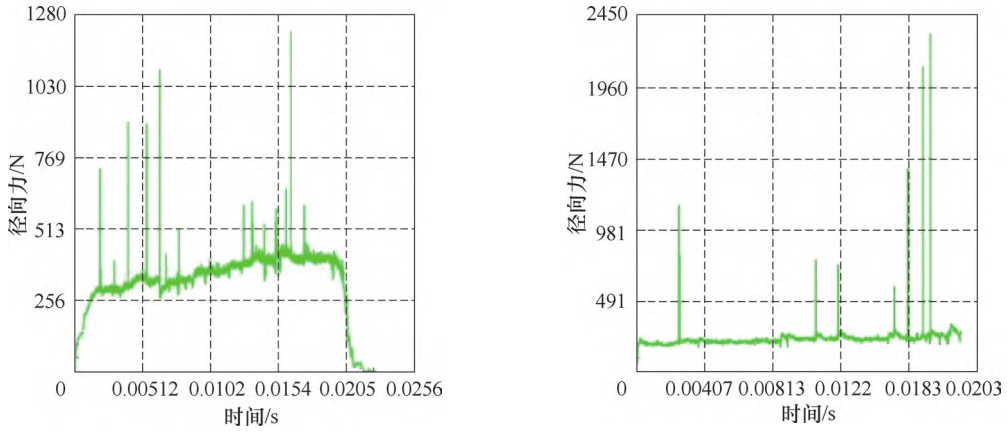
a）A组主切削力曲线　　b）B组主切削力曲线

图7　锐角与钝角主切削力对比



a）A组进给抗力曲线　　b）B组进给抗力曲线

图8　锐角与钝角进给抗力对比



a）A组径向力曲线　　b）B组径向力曲线

图9　锐角与钝角径向力对比

下，锐角刀尖与钝角刀尖的径向力相当。

综上所述，钝角刀尖的切削功率和刚性需求低于锐角刀尖。

5.2 钝角刀尖不同切削参数的对比

根据B、C、D组的切削变形模拟效果可以看出，进给量或背吃刀量的提高都能使得切屑卷曲程度加剧，有利于断屑，加大背吃刀量会使卷屑效果更为显著，如图10所示。在实际生产中可以通过加大背吃刀量获得更好的断屑效果，但受刀具主偏角较小的影响，背吃刀量不能超过1.5mm。

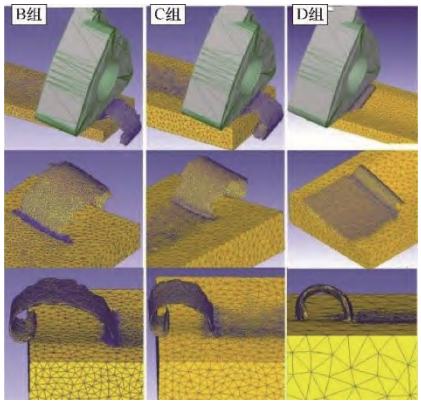


图10 钝角刀尖不同切削参数卷屑情况对比

各组钝角温度分布如图11所示，根据B、C、D组模拟的切削温度曲线可知，平均值分别为510℃、570℃和530℃，如图12所示。在刀具几何角度和切削参数不变的情况下，进给量或背吃刀量的提高都会使切削温度上升，加大进给量会使温度上升更为显著。在实际生产过程中，钝角刀尖可以采用加大背吃刀量的方法，以较小的温度上升，尽量减少刀具磨损，从而获得较高的加工效率。

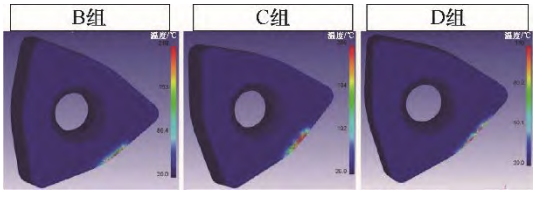
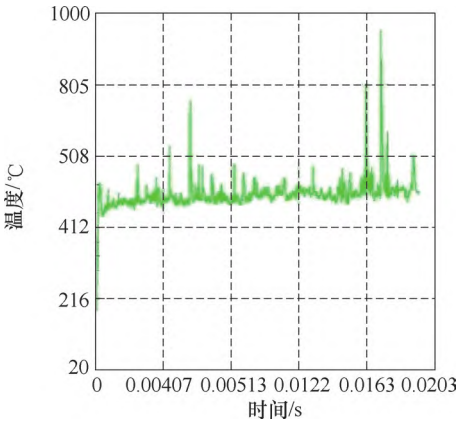
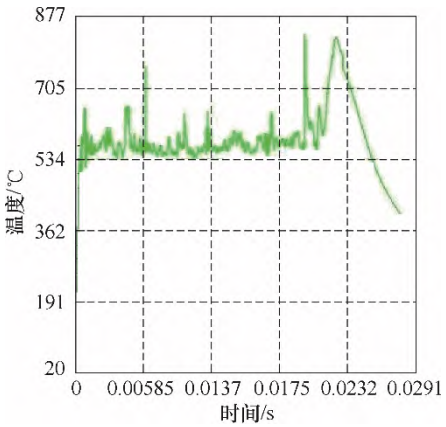


图11 各组钝角温度分布

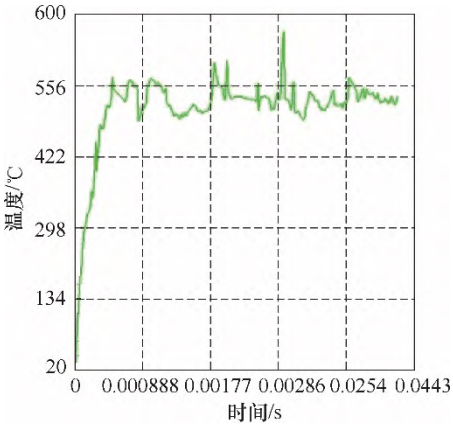
根据B、C、D组模拟主切削力曲线可知，主切削力（*Y*负载）的平均值分别为1040N、2090N和1570N，如图13所示，比例为1：2：1.51，钝角刀尖在切削速度不变的情况下，提升进给速度和背吃刀量后产生的主切削力与对应的材料去除率成正比。



a）B组温度曲线



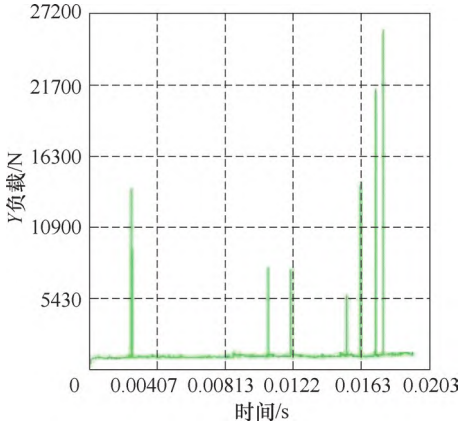
b）C组温度曲线



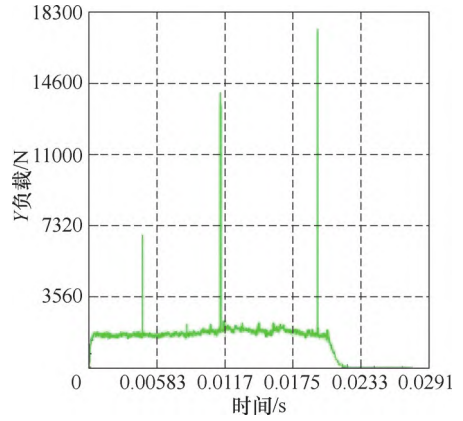
c）D组温度曲线

图12 钝角刀尖不同切削参数温度对比

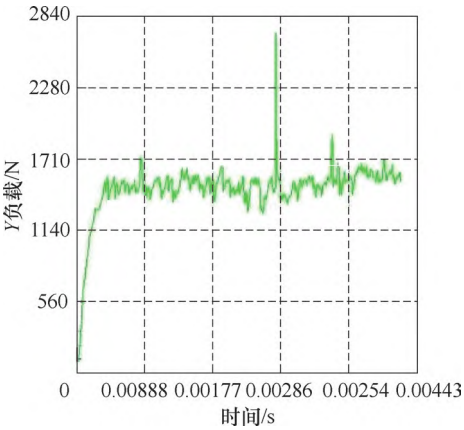
根据B、C、D组模拟进给抗力曲线可知，进给抗力（*X*负载）平均值分别为35.7N、66.3N和49N，如图14所示，比例为1：1.86：1.37。钝角刀尖在切削速度不变的情况下，提升进给速度后产生的进给抗力与材料去除率的比例约为93%，提升背吃刀量产生的进给抗力与材料去除率的比例为91.3%。可



a）B组主切削力曲线

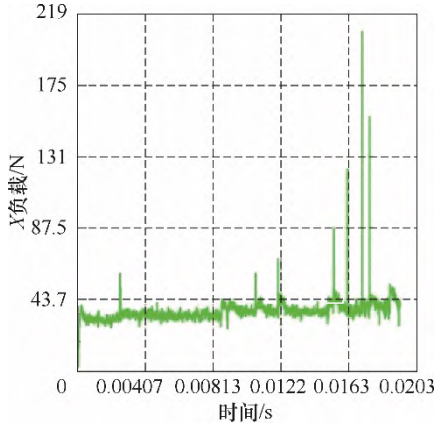


b）C组主切削力曲线

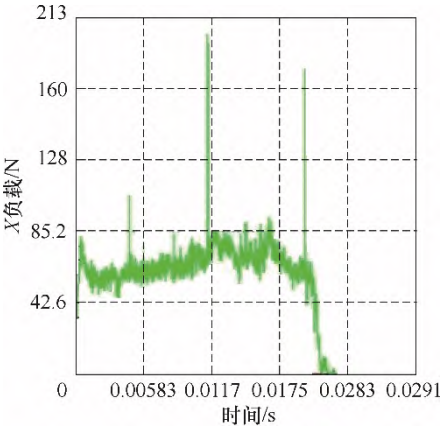


c）D组主切削力曲线

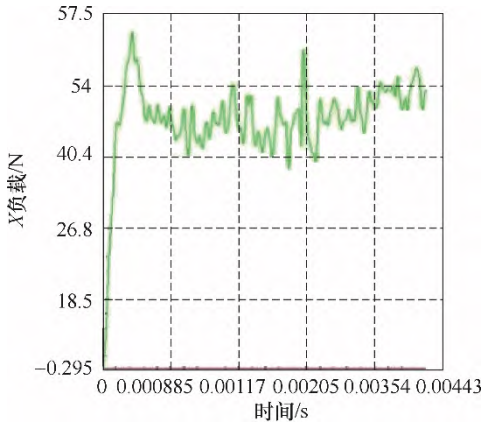
图13　钝角刀尖不同切削参数主切削力对比



a）B组进给抗力曲线



b）C组进给抗力曲线



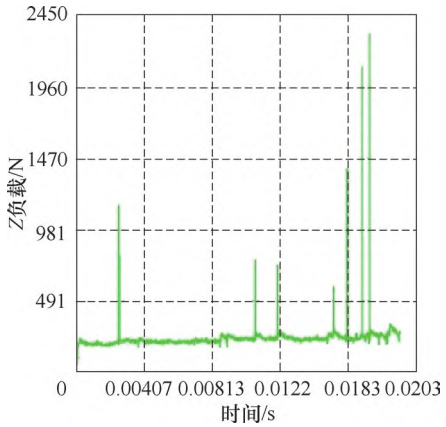
c）D组进给抗力曲线

图14　钝角刀尖不同切削参数进给抗力对比

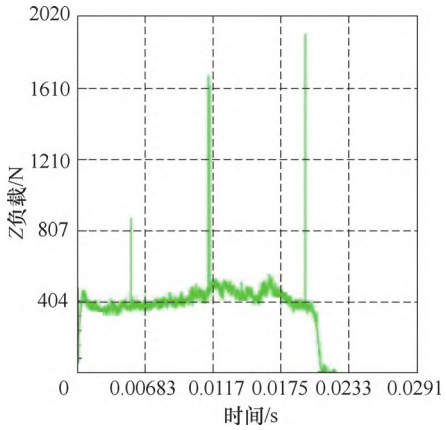
知在使用钝角刀尖车削工件时，提升进给速度与提升背吃刀量所产生的进给抗力相当。

根据B、C、D组模拟径向力曲线可知，径向力（*Z*负载）平均值分别为226N、443N和292N，如图15所示，比例为1：1.96：1.29。钝角刀尖在切削速度不变的情况下，提升进给速度产生的径向力与材料去除率比约为98%，提升背吃刀量产生的径向力与材料去除率比为86%。因此，在使用钝角刀尖车削工件时，提升背吃刀量相较提升进给速度所产生的径向力略小，在工件轴向刚性较好的工况下，如需提升加工效率，需采用提升背吃刀量的加工策略。

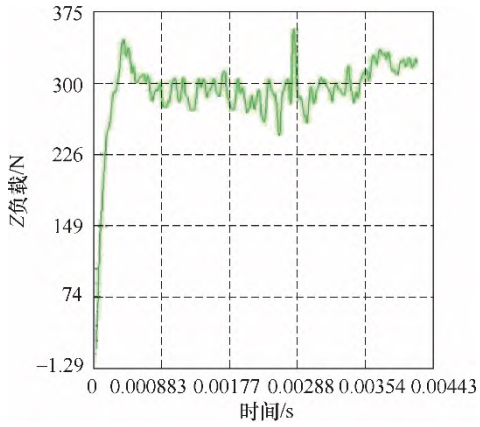
图16所示是参考仿真结果制作的桃形刀具实物。



a）B组径向力曲线



b）C组径向力曲线



c）D组径向力曲线

图15　钝角刀尖不同切削参数径向力对比

图16　桃形刀具

6　结束语

通过对W形刀片锐角与钝角刀尖切削过程的仿真，得出了下述结论。

1）在相同切削参数下W形刀片的钝角刀尖比锐角的切削温度低、耐磨性好且两者的切削力相当。在实际生产时若工件轮廓允许，用钝角刀尖切削经济性较好。

2）采用钝角刀尖切削时，提高背吃刀量的策略在切削温度、切削力等方面都优于增加进给量。在实际生产中针对钝角刀尖可以采用尽可能大的背吃刀量，以较小温度上升，尽量减少刀具磨损，以获得较高的加工效率。

参考文献：

[1] 薛飞，黄忠，王冬，等. 双主轴加工中心的模拟仿真[J]. 汽车工艺师，2023（6）：40-43.

[2] 薛飞，黄忠，黄迪. 金属切削过程模拟技术在缸体AF240工序提升刀具寿命的应用[J]. 金属加工（冷加工），2022（8）：55-60.

[3] 薛飞，黄忠，张秋平，等. 基于切削仿真技术的废旧刀片再利用[J]. 金属加工（冷加工），2023（8）：42-47.

[4] 黄忠，薛飞. 基于切削仿真的平衡轴以车代铣工艺优化[J]. 工具技术，2023，57（11）：124-127.

[5] 黄忠，薛飞. 基于切削仿真的缸体进排气面铣削优化[J]. 工具技术，2024，58（1）：122-125.

MW 20240416

欢迎关注：金属加工在线

“金属加工在线”汇聚新闻、技术、产品与市场等内容，纸媒、数字媒体、活动、图书与服务五位一体，是该领域一流的信息服务平台和推广服务平台。

media.mw1950.com

更多信息和专题技术
早知道　请扫描