

硬质合金波刃立铣刀铣削钻桅II大圆盘油槽切削效能试验与研究

■ 徐州徐工基础工程机械有限公司 (江苏 221000) 庞黎明 杨磊 李跟跟 黄蒙蒙

摘要: 以三种品牌 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金波刃立铣刀作为试验与研究的对象,从刀具的铣削能力、使用寿命、加工效率及刀具成本方面,分别介绍其切削加工效能情况。

根据公司旋挖钻机钻桅II龙门加工产能提升要求、SDMC-7000 $\times$ 2800龙门动柱切削加工中心机床的实际切削条件以及加工件钻桅II大圆盘油槽的设计、工艺要求,分别对山特维克可乐满R216.33-06030-BS07K规格、 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金三刃波刃立铣刀、台湾GFT G601-060*3EX规格、 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金三刃波刃立铣刀、株洲钻石GM-4W规格、 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金四刃波刃立铣刀,在选用切削参数相同或相近的条件下,进行钻桅II大圆盘油槽(材质为Q550C高强板)铣削试验与研究。

依据三种品牌 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金波刃立铣刀切削能力、效果,刀具在铣削过程中对工艺系统的动态影响,进行试验与研究,根据现场记录数据、加工效率产能,进行分析对比各品牌刀具的优缺点、工艺性及切削能力等数据。

1. 切削试验条件

(1) 试验刀具。以三种品牌

$\phi 6\text{mm}$ 硬质合金立铣刀刀具为铣削加工试验与研究对象。

山特维克可乐满:三刃波刃立铣刀技术参数为:粗加工立铣刀,硬度 $\leq 28\text{HRC}$, $D_c=6\text{mm}$,杆长 $L=54\text{mm}$,前端类型齿数 $z=3$,最大切削刃长度 $H=35.50\text{mm}$ 。

台湾GFT:三刃波刃立铣刀技术参数为:粗加工立铣刀, $D=6\text{mm}$,杆长 $L=50\text{mm}$,刃数 $z=3$,最大切削刃长 $H=16\text{mm}$ 。

株洲钻石:四刃波刃立铣刀技术参数为:粗加工立铣刀, $D=6\text{mm}$,杆长 $L=50\text{mm}$,齿数 $z=4$,切削刃长 $H=16\text{mm}$,适合加工硬度高于40HRC的预硬钢、淬硬钢。

(2) 试验机床。SDMC-7000 $\times$ 2800龙门动柱切削加工中心。

该设备技术参数:X轴行程7000mm,Y轴行程2800mm,Z轴行程1066mm,主轴鼻端至工作台距离最低800mm,最高1866mm,主轴锥度BT-50,主轴直径90mm,主轴转速10~6000 r/min,切削进

给率1~10000mm/min。

(3) 试件材料。旋挖钻机钻桅II大圆盘油槽,其材料为Q550C高强板,钢板硬度25HRC。

2. 三种波刃立铣刀切削试验

试验条件和试验结果如表1所示。铣削时采用相同或相近切削三要素,冷却方式相同。

3. 三种波刃立铣刀分屑效果切削寿命试验

(1) 试验条件和试验结果如表2所示。

(2) 影响切屑变形的因素。①工件材料:工件材料强度愈高,切屑变形愈小。②刀具前角:刀具前角愈大,切屑变形愈小。③切削速度:在无积屑瘤的切削速度范围内,切削速度愈高,变形系数愈小。④切削厚度:厚度增加,前刀面法向压力和平均正应力随之增大,前刀面摩擦系数随之减小,剪切角随之增大。切屑的种类有带状、节

状、粒状和崩碎。

4. 三种波刃立铣刀切削对工艺系统的动态影响

通过观测下述现象来分析其对工艺系统的动态影响（见表3）：①工艺系统振动及其对大圆盘油槽加工两侧面表面粗糙度的影响。②切屑收缩系数（ x =切削长度/切屑长度）的差异。③切削温度的变化。

5. 实例简介

（1）山特维克三刃波刃立铣刀 R216.33-06030-BS07K 1640。完成首台大圆盘油槽加工后，观

察切削刃涂层几乎无磨损。完成第二台大圆盘油槽加工后，切削刃涂层依旧完好，当加工第三台大圆盘油槽时，铣削产生的切屑形状变的不规则、变碎、颜色发紫，刀具刀尖刃涂层出现磨损，当刀具完成第四台大圆盘油槽的铣削加工后，油槽边侧出现毛刺，表面粗糙度质量降低，切削刃变钝，为防止三刃波刃立铣刀折断，未再继续试用。

（2）台湾GFT三刃波刃立铣刀G601-060*3EX。初期使用时切削力较轻快，产出的切屑形状较

规则、颜色银亮，键槽成型好，表面粗糙度 $R_a=6.3\mu m$ ；在第二台大圆盘油槽的加工时，铣削出的切屑形状变不规则、薄碎，键槽边侧有少许毛刺，切削颜色变成紫色，加工第三台大圆盘油槽时，切削刃变钝，产出的切屑颜色变成紫色，键槽边毛刺增加，表面粗糙度质量降低。

（3）株洲钻石四刃波刃立铣刀GM-4W-D6.0。切削加工第一台大圆盘油槽时切削力轻快，产出的切屑较薄碎，颜色银亮，油槽成型较好，观察切削刃涂层完

表1 切削三要素及单件加工用时

切削三要素 试验刀具	切削速度 n / ($r\cdot min^{-1}$)	吃刀深度 a_p /mm	进给量 v_f / ($mm\cdot min^{-1}$)	冷却方式	单件用时/min
株洲钻石 四刃波刃GM-4W-D6.0	2 400	3	100	风冷	40
台湾GFT 三刃波刃 G601-060*3EX	3 000	3	150	风冷	35
山特维克 三刃波刃 R216.33-06030-BS07K 1640	3 000	3	150	风冷	30

说明：随着钻铤Ⅱ大圆盘油槽加工数量的递增，波刃立铣刀的铣削加工时，进给也因刀具磨损在小范围内递减，故加工用时稍有不同，此表内加工时间为平均用时。

表2 三种波刃立铣刀分屑试验结果

切削效果试验刀具	分屑能力	切屑形状	耐磨性	生产能力/台	刀具单价/元
株洲钻石 四刃波刃GM-4W-D6.0	排屑不畅	切屑细小	优	2.5	48.9
台湾GFT 三刃波刃G601-060*3EX	排屑流畅	切屑细小	良	3	230.6
山特维克 三刃波刃 R216.33-06030-BS07K 1640	排屑流畅	切屑细小	优	4	597.5

注：①刀具磨损过程：初期磨损 $V_b=0.03mm$ ；正常磨损 $V_b=0.1mm$ ；剧烈磨损 $V_b=0.3mm$ 。②刀具材料具备的基本性能：高的硬度、高的耐磨性、足够的强度和韧性、高的耐热性、良好的导热性和耐热冲击性能、良好的工艺性能、经济性。③切削速度对刀具使用寿命的影响最大，进给量次之，背吃刀量最小。

表3 三种波刃立铣刀铣削时对工艺系统的动态影响

试验刀具	山特维克可乐满 三刃波刃立铣刀	台湾GFT 三刃波刃立铣刀	株洲钻石 四刃波刃立铣刀
铣削效果、表面粗糙度	铣削力小、噪声小，加工面较光整，适用于粗加工。	铣削力小、噪声小，加工面较光整，适用于粗加工。	铣削力小、噪声小，加工面较光整，适用于粗加工。
切屑收缩系数	$x=0.1$	$x=0.1$	$x=0.1$
切屑表层颜色	银灰色	银灰色	银灰色

影响加工精度的因素：机床本身的几何精度、运行精度；零件的刚性；零件装夹定位的合理性；加工工艺基准选择的正确性、零件本身的热处理工艺的合理性、加工工艺制订的科学性（粗精加工分开、选取的加工设备是否合适等）、选取刀具的精度和可靠性、温度变化对机床和零件的影响、操作者的技术水平等。

好；加工第二台大圆盘油槽时，开始切削力较轻快，但随着加工的深入，切屑颜色逐渐发生变化，变紫，油槽侧壁出现毛刺，表面粗糙度质量降低。

6. 三刃、四刃立铣刀的特点用途简介

(1) 从被切削材料、铣削工艺（立铣、侧面铣、螺旋铣等）、铣削余量等来考虑，三刃便于排屑，四刃耐磨。

(2) 从同柄同刃径来说，四刃的比三刃的强度好，因为四刃的比三刃的芯厚。

7. 普通刃立铣刀和波刃立铣刀的特点对比

普通刃立铣刀和波刃立铣刀的种类、形状和特点对比如表5所示。

8. 三种品牌 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金立铣刀切削参数、试验条件及刀具使用周期对比

(1) 对比一：山特维克可乐满三刃波刃立铣刀钢性好，切削刃性能出色，产成品质量较好，



(a) (b)
图1 立铣刀标牌型号三刃波刃立铣刀



(a) (b)
图2 立铣刀标牌型号安装在铣夹头上的三刃波刃立铣刀



(a) (b)
图3 立铣刀标牌型号四刃波刃立铣刀

可进行强力切削，加工效率高，但价格不占优势，使用成本较高。

(2) 对比二：台湾GFT三刃波刃立铣刀的使用寿命和耐磨性良好，价格适中，使用成本适中。

(3) 对比三：株洲钻石四刃波刃立铣刀，本身切削排屑就比三刃立铣刀差，其切削使用寿命差些，但 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金四刃波刃立铣刀耐磨、刚性好、采购和使用成本较低。

9. 结语

通过对波刃立铣刀的试验与研究，三种品牌都显现出其优良的特点：

(1) 切削效率都比普通铣刀提高1~2倍（以单位时间切除的材料体积计算）。

(2) 切削平稳、振动小，在工艺系统刚性不足的情况下，仍能完成某些普通铣刀难以完成的铣削任务。

(3) 与普通铣刀相比，刀具寿命提高大约30%左右。

(4) 切屑较短，（一般为铣削速度的1/3~1/2），排屑流畅，工作的热变形小。

(5) 加工表面粗糙度能保证图样质量要求。

(6) 粗、精加工无需换刀。

根据试验效果记录，我们对三种品牌 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金波刃立铣刀切削性能、优缺点、刀具的采购和使用成本，有了更明确的认识。

综上所述，为了钻桅Ⅱ大圆盘油槽加工产能的提升，根据切削速度对刀具使用寿命的影响最大、进给量次之、背吃刀量最小的原则，正确安排工艺工序，降低切削速度，加大风冷，以期达到解决切削排屑不畅的问题。最终选择株洲钻石 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金四刃波刃立铣刀作为采购和生产用刀具，是从降低刀具采购和使用成本入手，是最经济和正确的决定。

因此，研究 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金波刃立铣刀切削能力、寿命、效率、经济性、使用和采购成本，对同行业有一定推广和借鉴的作用。

参考文献：

[1] 苏宏志. 数控加工刀具及其选用技术[M]. 北京：工业出版社，2014.

表4 齿数与容屑槽特点

试验刀具		三刃	四刃
特点	优点	三刃便于排屑，纵向进给加工容易	四刃耐磨、刚性高
	缺点	外径测定困难	切屑排出不顺畅
用途		用于槽、侧面加工、重铣削及精加工	用于浅槽、侧面加工及精加工

表5 外周刀的种类、形状和特点

种类	形状	特点
普通刃		使用广泛，应用在槽加工、侧面加工及台阶面加工等。另外在粗加工、半精加工及精加工所有场合均可使用
波刃		切削刃成波形，切屑细小，铣削力小。适用于粗加工，不宜精加工。

MW (收稿日期：20160902)