

PCBN 刀具切削力及摩擦系数试验研究

Experimental Study on Cutting Force and Friction Coefficient of PCBN Cutting Tool

北京理工大学 张京英 于启勋 庞思勤

[摘要] 对 PCBN 刀具车削加工时的切削力及摩擦系数与切削用量的关系进行试验研究,并与 YN10 硬质合金刀具对比,结果表明:PCBN 刀具特别适于高速条件下的干式切削加工,而且为了提高生产率,采用大进给量切削比大切深切削较省力又省功率。

关键词: PCBN 切削力 摩擦系数

[ABSTRACT] The relationship between cutting force, friction factor and cutting consumption of PCBN is studied. It is illustrated that PCBN cutting tool is superior to YN10 carbide cutting tool. PCBN cutting tool is especially suitable for high-speed and dry cutting condition. In order to increase productivity, large feed save more energy and power than large cutting deep.

Keywords: PCBN Cutting force Friction coefficient

聚晶立方氮化硼(PCBN)刀具以它优越的切削性能应用于切削加工各个领域,尤其在高硬度材料、难加工材料的切削加工中更是独树一帜。经过不断开发,已出现了用以加工不同材料的PCBN刀具材质。

在切削过程中切削力对被加工工件的尺寸和形状精度、加工表面粗糙度、加工变质层和刀具耐用度等均具有直接或间接影响。本课题通过用PCBN刀具与硬质合金刀具车削不同硬质材料进行对比试验,对进给量和切削深度对切削力的影响进行了分析研究,从而更好地了解了PCBN刀具的性能,有利于更有效地指导生产。

1 车削试验条件及切削力测量

1.1 车削试验条件

本试验用车床为C6150。选用PCBN刀具和硬质合金YN10刀具进行对比试验,刀具几何参数为:(前角 γ_0 ,后角 α_0 ,主偏角 κ_r ,刀尖圆弧半径 r_ϵ ,刃倾角 λ_s ,副后角 α'_0 ,负倒棱角度 γ_{01} ,负倒棱宽度 b_{r1} ,下同)。

PCBN 刀具: $\gamma_0=-6^\circ$, $\alpha_0=+6^\circ$, $\kappa_r=45^\circ$, $r_\epsilon=0.5\text{mm}$, $\lambda_s=-4^\circ$, $\alpha'_0=4^\circ$, $\gamma_{01}=-20^\circ$, $b_{r1}=0.2\text{mm}$ 。

硬质合金 YN10 刀具: $\gamma_0=0^\circ$, $\alpha_0=+8^\circ$, $\kappa_r=45^\circ$, $r_\epsilon=0.3\text{mm}$, $\lambda_s=0^\circ$, $\alpha'_0=4^\circ$, $\gamma_{01}=-20^\circ$, $b_{r1}=0.2\text{mm}$ 。

工件材料为 30CrMnSi 和 45# 钢。

30CrMnSi 材料: $D=83\text{mm}$, HRC56~59。

45# 中碳钢: $D=69\text{mm}$, HRC40~45。

1.2 切削力的测定

用测力仪测量切削力:测力仪的测量原理是利用切削力作用在测力仪的弹性元件上所产生的变形,或作用在压电晶体上产生的电荷经过转换后,读出 F_c 、 F_f 、 F_p 的值。在自动化生产中,还可利用测力传感装置产生的信号优化和监控切削过程^[1]。

按工作原理测力仪可以分为机械、液压和电气测力仪。过去常用电阻应变片式测力仪,近年多用先进的压电晶体测力仪。本课题用的是瑞士Kistler公司的压电晶体测力仪。

1.3 试验数据采集以及处理

在车床C6150刀架台上安装测力仪,采集刀具切削工件时的主切削力 F_c 、切深抗力 F_p 和进给抗力 F_f 。测力仪输出端与电脑相连,将采集的数据传输至电脑,以文本文件的形式保存下来。

刀具在切削工件时,同时产生的 F_c 、 F_p 和 F_f 这3个切削力可由测力仪一次测定。

测力仪对每组试验(确定速度 v ,切深 a_p 和进给量 f 的一次走刀),同时测定 F_c 、 F_f 、 F_p 3个方向上的电信号,保证采集的3个力之间有所关联。测力仪在每个方向上采集80000个数据点,经过软件处理,输出一个txt文件,文件内的数据为 F_c 、 F_f 、 F_p 3个方向上的力的电信号。用Matlab对每个方向上的80000个电信号数据点求出平均值,得到一组参数。用该组参数和标定的 F_c 、 F_f 、 F_p 方向上的标定系数相乘,得到的即是该方向上的切削力,单位为N。

改变切深 a_p 和进给量 f ,将得出的不同切削参数下的 F_c 、 F_f 、 F_p 分别绘制双对数坐标图。通过对每组4个采样点的一次线性拟合来绘制曲线图。所

得到的图能直观地表现 PCBN 刀具和 YN10 刀具对 30CrMnSi 和 45# 钢的切削力,有助于切削力的分析。

2 进给量对切削力的影响

在 $v=100\text{m/min}$, $a_p=1\text{mm}$, f 分别取 0.1, 0.12, 0.15, 0.2 (mm/r) 干切削的情况下可分别测量 F_c , F_f , F_p ; 分别作出 $f-F_c$ 、 $f-F_f$ 以及 $f-F_p$ 双对数坐标图来分析切削

力,如图 1~3 所示。

3 切削深度对切削力的影响

在 $v=100\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/r}$ 时, a_p 分别取 0.5、0.7、1.0、1.5 (mm) 情况下测定 F_c 、 F_f 、 F_p ; 分别作 a_p-F_c 、 a_p-F_f 以及 a_p-F_p 双对数坐标图来分析切削力,如图 4~6 所示。

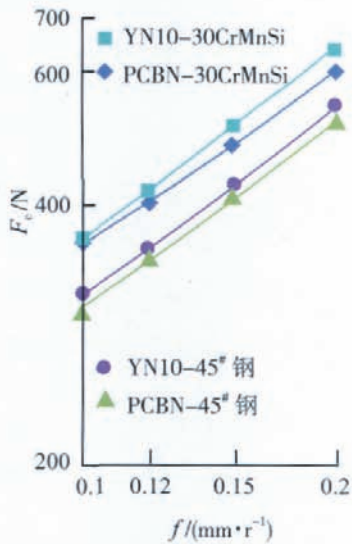


图 1 $f-F_c$ 双对数坐标图
Fig.1 $f-F_c$ double logarithmic coordinates

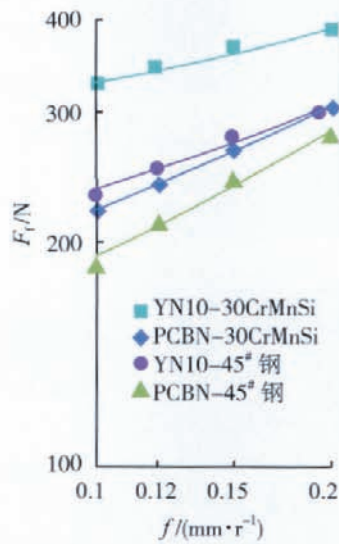


图 2 $f-F_f$ 双对数坐标图
Fig.2 $f-F_f$ double logarithmic coordinates

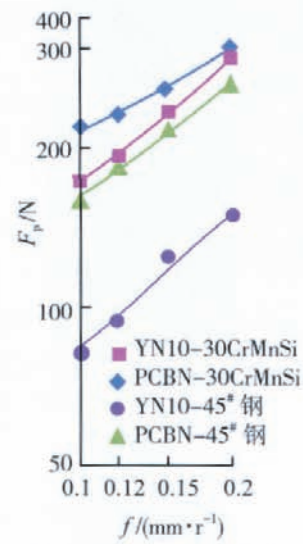


图 3 $f-F_p$ 双对数坐标图
Fig.3 $f-F_p$ double logarithmic coordinates

4 分析与讨论

从图 1、图 2、图 4 和图 5 的 F_c 和 F_f 方向上测得结果明显看出: 切削同种工件的时候, PCBN 刀具与 YN10 硬质合金刀具相比具有较小的切削力。这是因为 PCBN 刀具具有较低的摩擦系数。PCBN 刀具与不同材料的摩擦系数在 0.1~0.3 之间, 大大低于硬质合金的摩擦系数 (0.4~0.6), 而且随摩擦速度及正压力的增大而略有减小。这是因为 PCBN 刀具的硬度高, 故对工件材料的摩擦系数小。在此需要说明的是: 由于 PCBN 刀具材料比较脆, 所以采用了副前角, YN10 硬质合金刀具采用的是 0° 角。采用副前角的刀具的切削力本应大于采用 0° 角刀具的切削力, 而现在, 采用了副前角的 PCBN 刀具的切削力小于采用 0° 角 YN10 硬质合金刀具的切削力, 若两个刀具的前角相同时, PCBN 刀具的切削力会更小。

2 种刀具切削硬度较高的 30CrMnSi 时都比切削 45# 钢的切削力大。这是因为 30CrMnSi 硬度和强度较 45# 钢高, 故其剪切屈服强度 τ_s 增大, 使得刀具对

其的切削力增大。同时 30CrMnSi 的塑性和韧性比 45# 钢高, 切屑不易折断, 为连续型。其切屑与刀具前刀面摩擦增大, 切削力增大。

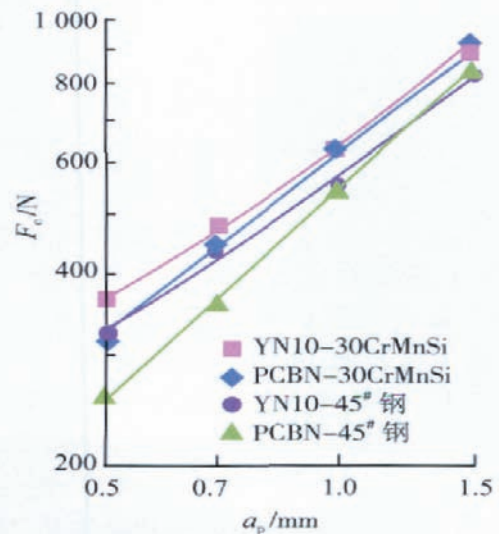


图 4 a_p-F_c 双对数坐标图
Fig.4 a_p-F_c double logarithmic coordinates

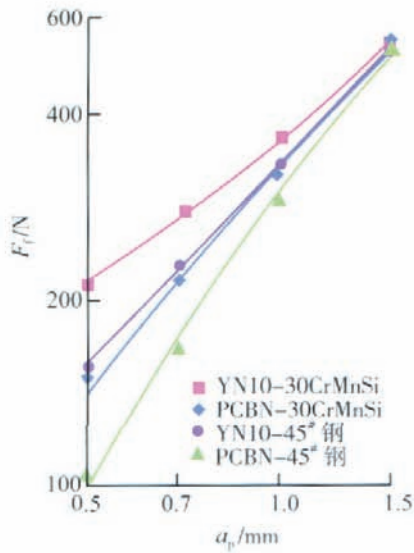


图 5 a_p - F_t 双对数坐标图

Fig.5 a_p - F_t double logarithmic coordinates

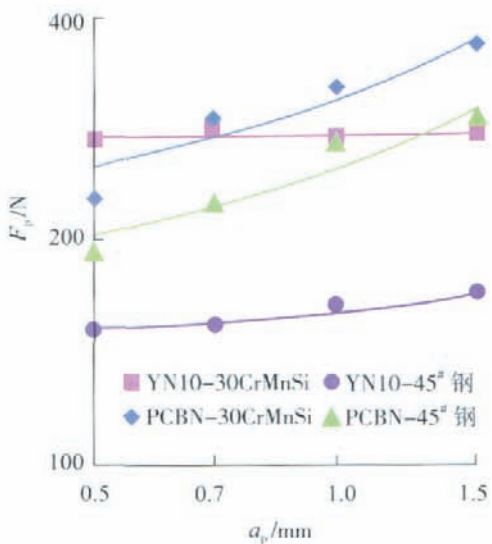


图 6 a_p - F_r 双对数坐标图

Fig.6 a_p - F_r double logarithmic coordinates

从图 3 和图 6 的 F_p 方向上测得结果看, PCBN 刀具较 YN10 硬质合金刀具具有较大切削力, 且拟合曲线的趋势与理论不符。推测原因是因为 PCBN 刀具的刀尖圆弧半径较大, 而且在切削难加工材料时需要抵御高功率粗加工的切削负荷和断续切削的机械冲击, PCBN 刀具多带有负倒棱, 在 F_p 方向上产生了较大的径向分力。这就要求机床功率大, 精度高, 系统刚性好, 才能保护 PCBN 刀具, 获得满意的加工效果。

PCBN 刀具和 YN10 刀具的主偏角 κ_r 在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 范围内, 刀尖处圆弧半径对切削力 F_p 的

影响较为突出。PCBN 的刀具刀尖处圆弧半径为 $r_e=0.5\text{mm}$, 大于 YN10 刀具刀尖处圆弧半径 $r_e=0.3\text{mm}$ 。所以 PCBN 刀具在 F_p 方向上产生的分力要大于 YN10 刀具在 F_p 方向上产生的分力。另一方面, F_p 不消耗功率, 但由机床—夹具—刀具组成的工艺系统刚性不足是造成振动的主要因素。因此, 这一反常现象与较硬刀具在切削较硬材料时的震动有关。

5 摩擦系数的计算

在测得三向切削力之后, 可计算出摩擦系数。计算公式为:

$$\mu = \tan \left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{F_f^2 + F_p^2}}{F_c} + \gamma_0 \right) \right] \quad (1)$$

在 $v=100\text{m/min}$, $a_p=1\text{mm}$, f 为 0.1、0.12、0.15、0.2 (mm/r) 的切削条件下, 图 1~3 计算出的摩擦系数变换规律如图 7 所示。

在 $v=100\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm}$, a_p 为 0.5、0.7、1.0、1.5 (mm) 的切削条件下, 由图 4~图 6 计算出的摩擦系数变换规律如图 8 所示。

从图 7 可以明显看出: 刀具和工件的摩擦系数随着进给量的增加呈线性减小趋势。同时, 在切削同种工件时, PCBN 刀具对工件的摩擦系数要远小于 YN10 硬质合金刀具对工件的摩擦系数。

PCBN 刀具摩擦系数随着进给量的增加呈线性减小的幅度相对较低。随着进给量的增加, YN10 硬质合金刀具与工件的摩擦系数减小的幅度相对较大。这是因为较大进给量时, 切削速度较高, 大量切削热

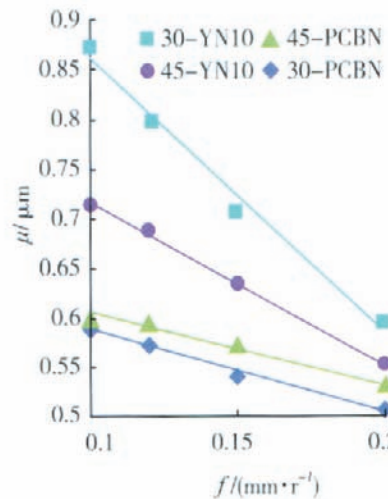


图 7 摩擦系数与进给量之 f - μ 关系

Fig.7 Relationship between friction coefficient and feeding (f - μ)

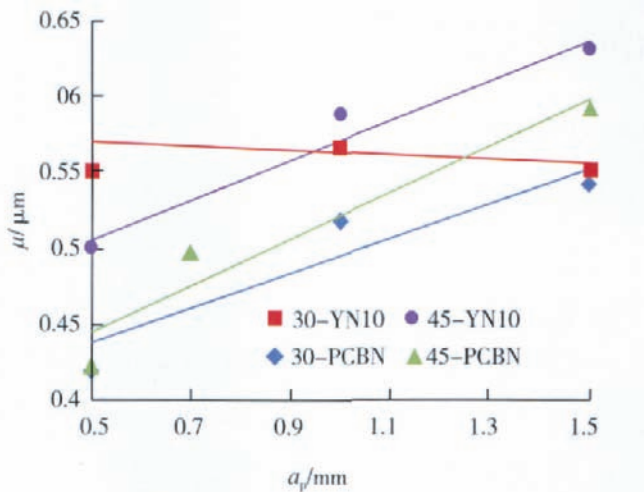


图8 摩擦系数与切削深度之 a_p - μ 关系
Fig.8 Relationship between coefficient and cutting depth (a_p - μ)

被切屑带走,传递给刀具的比例降低,使切削温度降低,刀具和被加工工件材料的温度相对于较小进给下的切削温度要低,使得刀具和被加工工件材料相对较小进给下的硬度要高一些。在小进给量时,YN10 刀具与工件材料可能发生粘结,粘结最典型的后果是形成积屑瘤,从而使得刀具与工件的摩擦系数增大。而PCBN 刀具具有良好的导热性、红硬性和热稳定性。因此,在此范围内的进给量的变化,对PCBN 刀具的影响没有像对YN10 硬质合金刀具的影响那样大。

从图7还可以看出:YN10 硬质合金刀具切削硬度较高的30CrMnSi 时的摩擦系数比切削45[#] 钢时的高,而PCBN 刀具切削硬度较高的30CrMnSi 时的摩擦系数反而比切削45[#] 钢时的低。这说明:PCBN 刀具更适合切削硬度较高的工件材料。

从图8可以看出:刀具和工件的摩擦系数随着切深的增加呈线性递增趋势,3个试验与理论一致。而用YN10 刀具切削30CrMnSi 的一组摩擦系数绘制的拟合直线规律与理论规律相反,而且每次的试验数值偏差较大,可能是由于YN10 刀具切削30CrMnSi 时,刀具急剧磨损导致的误差。

6 PCBN 刀具后刀面的磨损

使用PCBN 刀具切削45[#] 钢来研究切削力对PCBN 刀具后刀面磨损的影响,切削参数为 $a_p = 0.1\text{mm}$, $f = 0.1\text{mm/r}$, $v = 100\text{m/min}$,干切。材料为45[#] 钢, $D = 69\text{mm}$, HRC42~46。试验数据所得到的切削力与后刀面磨损量的关系如图9所示。

从图9可知:随后刀面磨损增加,切削力增大。这是由于刀具的后刀面磨损时,在后刀面形成后角为零的棱带,后刀面磨损愈大,棱带的面积愈大,使刀具后刀面与加工工件的接触面积增大,因而使3个切削分力都增大。

改善后刀面磨损的措施有:提高切削线速度;增大工件进给量;增大切削深度;检查刀片切削点是否位于中心高处^[2]。

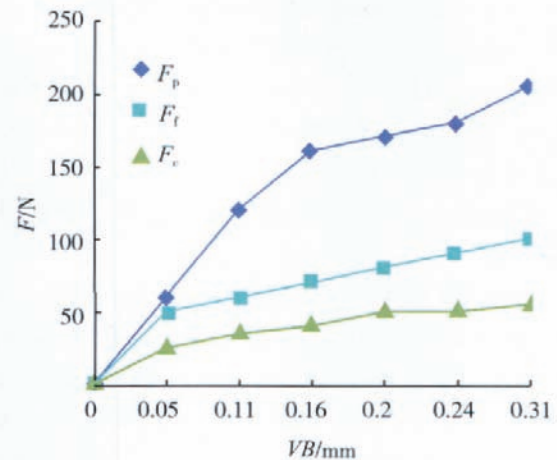


图9 PCBN 切削 45[#] 钢时后刀面磨损与切削力的关系曲线

Fig.9 Relationship between major flank wear and cutting force of PCBN cutting tool turning 45[#] steel

7 结束语

上述试验表明,刀具和工件的摩擦系数随着进给量 f 的增加呈线性减小趋势;刀具和工件的摩擦系数随着切深 a_p 的增加呈线性递增趋势。

切削深度 a_p 、进给量 f 增大,则切削层面积增大,变形抗力和摩擦力增大,切削力增大。

由于切削深度 a_p 对切削力的影响比进给量对切削力的影响大(通常 $X_{Fz}=1$, $Y_{Fz}=0.75\sim 0.9$),所以在实践中,当需切除一定量的金属层时,为了提高生产率,采用大进给切削比大切深切削较省力又省功率。

由此证明,由于PCBN 刀具材料具有优秀的红硬性和热稳定性,特别适于高速条件下的干式切削加工。

参 考 文 献

- [1] 徐宏海,杨永雷,张超英. 多维测力仪扰力解耦算法研究. 中国制造业信息化,2006 (9): 66-67.
- [2] 文东辉,刘献礼. PCBN 刀具的磨损机理. 哈尔滨理工大学学报,2002 (1): 56-59. (责编 金卯)