

# 切削 Ni 基高温合金适用的可转位硬质合金刀具的 试验研究

## Research on Indexable Carbide Cutting Tool for Ni-Base High-Temperature Alloy

哈尔滨工业大学机电工程学院 韩荣第 郝兆朋 路 勇 李鑫森

[摘要] Ni 基高温合金的应用日益增多,但其加工困难、效率低,为此进行了高效车削适用的硬质合金可转位车刀的涂层、几何角度与刀片形状的切削试验。结果表明, TiAlN 涂层、主偏角为  $45^\circ$ 、前角为  $3^\circ \sim 9^\circ$ 、刀片为圆形的车刀效果较好。

关键词: Ni 基高温合金 高效车削 涂层 切削力 切削温度 刀具磨损

[ABSTRACT] To solve the contradiction between more and more application of Ni-base high-temperature alloy and machining difficulty, the experiment test of coating, geometric angles and blade shape of indexable carbide cutting tool for high-effective turning is carried out. The result shows that the cutting tool with TiAlN coating,  $45^\circ$  cutting edge angle,  $3^\circ \sim 9^\circ$  front angle and round blade has good cutting efficiency.

Keywords: Ni-base high-temperature alloy High-effective turning Coating Cutting force Cutting temperature Cutting tool wear

Ni 基高温合金是多组元的复杂合金,切削加工性很差,如 45 钢(正火)切削加工性  $K_v=1$ ,而 Ni 基高温合金的相对加工性  $K_v=0.05 \sim 0.2$ ,属于难加工材料,因为它有很好的热强性能、热稳定性和热疲劳性能,故在各种航空航天器上的涡轮发动机及燃气轮机耐热零部件(轮盘、叶片等)制造中得到了广泛应用。难加工、效率低与广泛应用的矛盾越来越突出,解决 Ni 基高温合金的高效加工问题已成为制造领域的当务之急。

通常的高效加工即在保证加工质量和成本的前提下尽量选用较高的切削速度。但切削速度的提高是受刀具使用寿命限制和约束的,因此必须千方百计地保证或提高刀具的使用寿命。这可在充分了解工件材料物理力学性能、切削加工特点的基础上,选择适用的刀具材料及涂层这个关键,因它解决了能不能高效加工的问题。在此基础上再选择合理的刀具几何参数,因为几何参数(包括几何角度)合理了,就可减小切削力  $F_c$ ,降低切削温度  $\theta$ ,减小刀具磨损  $VB$ ,提高刀具使用寿命

$T$  和加工表面质量,这是重点。接着再选择合理的切削用量( $v_c, f, a_p$ ),这是贯穿其中的主线,因为这是我们的目标。为了达到高效切削的目的,冷却润滑剂及冷却方式的选择也很重要,这也是高效加工必须使用的工艺手段,因为冷却润滑可减小摩擦和切削力、降低切削温度、减小刀具磨损、提高刀具使用寿命和加工表面质量及加工效率。本文仅就刀具涂层、几何角度、刀片形状的选择进行切削试验,择优选用,供同行参考。

## 1 GH4169 (固溶) 切削试验

### 1.1 试验设备与仪器

- (1) 机床: 带有变频器的 CA6140 普通车床。
- (2) 刀具: 硬质合金可转位外圆车刀。
- (3) CCD- 计算机观测系统: 包括 CCD 像机、显微镜镜头、图像采集卡及 PC 机。
- (4) 测温系统: 自然热电偶法测量回路热电势、函数记录仪记录、双接点高精度快速标定装置。
- (5) 切削力测量系统: Kistler 9257A 三向测力仪、5007 型电荷放大器、数据采集卡和 PC 机。
- (6) 表面粗糙度测量: 用 TR200 便携式粗糙度测量仪。

### 1.2 涂层选择的切削试验

文献大都推荐切削 Ni 基高温合金宜用 PVD-TiAlN 涂层,为此进行了两种涂层 TiAlN 及 TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC 的切削试验。

试件: GH4169 (固溶) 100mm × 500mm 的棒料;

涂层刀片: 日本住友公司生产 TiAlN (AC520U)、TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC (AC830);

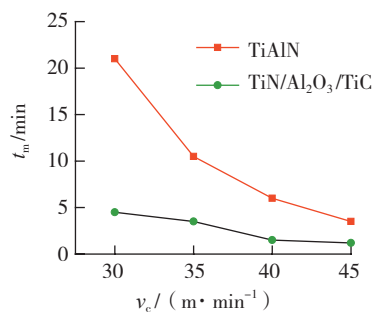
刀片角度:  $\gamma_{mb}=10^\circ, \alpha_{mb}=0^\circ, \lambda_{sb}=0^\circ$ ;

可转位外圆车刀:  $\gamma_o=3^\circ, \alpha_o=7^\circ, \kappa_r=\kappa_r'=45^\circ, \lambda_s=-4^\circ$ ;

后刀面磨损:  $VB=0.3\text{mm}$ , 干切;

切削用量:  $f=0.1\text{mm/r}, a_p=1\text{mm}$ ; 改变  $v_c=30, 35, 40, 45\text{m/min}$ , 得到了图 1 所示的  $t_m-v_c$  关系曲线。

不难看出: (1)  $v_c=30\text{m/min}$  干切时, TiAlN 涂层刀片切削时间  $t_m=22\text{min}$ , TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC 涂层刀片  $t_m=5\text{min}$ ,

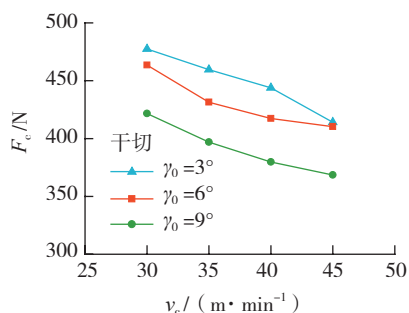
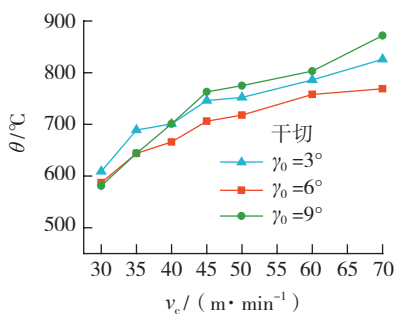
图1  $\gamma_0=3^\circ$  时不同涂层的 $t_m-v_c$ 关系Fig.1  $t_m-v_c$  relation of different coatings at  $\gamma_0=3^\circ$ 

随着 $v_c$ 的提高,  $v_c=45\text{m/min}$ 时, TiAlN的 $t_m=4\text{min}$ , TiN/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 的 $t_m$ 只有 $1.5\text{min}$ ,前者为后者的2.3~4倍。其原因在于前者的耐热温度可达 $850^\circ\text{C}$ ,后者仅为 $550^\circ\text{C}$ 。

(2) TiAlN后刀面磨损 $VB$ 值明显小于TiN/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 。

### 1.3 切削力与切削温度的切削试验

试验采用TiAlN涂层,图2给出了切削力 $F_c-v_c$ 关系曲线,图3给出了切削温度 $\theta-v_c$ 关系曲线。

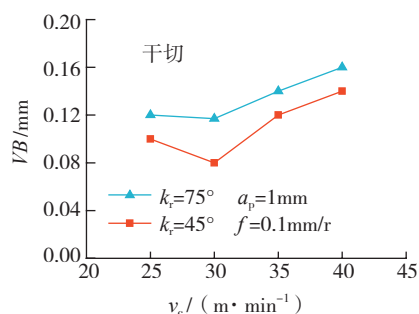
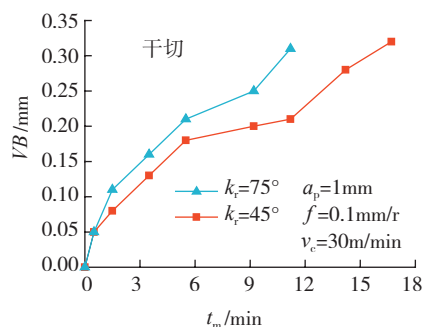
图2  $F_c-v_c$ 关系曲线Fig.2  $F_c-v_c$  relation curve图3  $\theta-v_c$ 关系曲线Fig.3  $\theta-v_c$  relation curve

可以看出:(1)切削力 $F_c$ 随 $v_c$ 的提高呈减小趋势,且前角 $\gamma_0$ 越大者 $F_c$ 越小,这完全符合切45钢的规律;(2)切削过程中,切削温度 $\theta$ 随 $v_c$ 的提高而升高, $v_c<35\text{m/min}$ , $\gamma_0=6^\circ$ 时 $\theta$ 最低, $\gamma_0=3^\circ$ 时最高,因为 $\gamma_0$ 小, $F_c$ 大,做功发热多,使得 $\theta$ 高;当 $v_c>35\text{m/min}$ ,发热多了, $\gamma_0=9^\circ$ 的刀具楔角 $\beta_0$ 相比之下变小了,散热性能变差了,故 $\theta$ 高。

### 1.4 主偏角 $\kappa_r$ 与前角 $\gamma_0$ 的切削试验

(1)主偏角 $\kappa_r$ 的切削试验。

刀片为YG8(株洲钻石刀具公司,  $\gamma_{nb}=15^\circ$ ),干切,切削路程 $l_m=30\text{m}$ 情况下,用 $\kappa_r=45^\circ$ 、 $75^\circ$ 两种可转位车刀( $\gamma_0=9^\circ$ ,  $\alpha_0=6^\circ$ )进行切削试验。可以得出 $VB-v_c$ 关系曲线如图4所示,  $VB-t_m$ 关系曲线如图5所示。

图4  $VB-v_c$ 关系曲线Fig.4  $VB-v_c$  relation curve图5  $VB-t_m$ 关系曲线Fig.5  $VB-t_m$  relation curve

可见: $\kappa_r=45^\circ$ 时的 $VB$ 值仅为 $\kappa_r=75^\circ$ 时的16%~33%,切削时间 $t_m$ 约比 $75^\circ$ 的提高40%左右。原因在于参加工作的切削刃长度增加了,单位负荷减轻了,耐磨性提高了。

(2)前角 $\gamma_0$ 的切削试验。

$\gamma_0=3^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $9^\circ$ 时的 $VB-t_m$ 关系曲线如图6所示。

可知:当 $VB=0.3\text{mm}$ ,  $v_c=30\text{m/min}$ 时,  $\gamma_0=9^\circ$ 的 $t_m$ 最长,约比 $3^\circ$ 、 $6^\circ$ 分别提高了50%、25%;但当 $v_c=40\text{m/min}$ 时,  $\gamma_0=9^\circ$ 的 $t_m$ 最短,仅是 $\gamma_0=3^\circ$ 的78%、 $\gamma_0=6^\circ$ 的58%。因此时刀具楔角 $\beta_0$ 最小,切削温度 $\theta$ 最高。

### 1.5 刀具磨损试验

切削条件与涂层选择的切削试验相同。 $\gamma_0=3^\circ$ 、 $6^\circ$ 、 $9^\circ$ 干切时的刀具磨损曲线如图7所示。

可看出: $v_c=30\text{m/min}$ 时,  $\gamma_0=3^\circ$ 时,  $t_m=20\text{min}$ ;  $\gamma_0=6^\circ$ 时,  $t_m=25\text{min}$ ;  $\gamma_0=9^\circ$ 时,  $t_m=30\text{min}$ ,刀具切削时间最长;但 $v_c \geq 40\text{m/min}$ 时,  $\gamma_0=9^\circ$ 的 $t_m=3\text{min}$ ,  $\gamma_0=3^\circ$ 的 $t_m=5.5\text{min}$ ,  $\gamma_0=6^\circ$ 的 $t_m=6\text{min}$ 。这与对 $\theta$ 的影响规律是完全一致的。

### 1.6 刀片形状选择的切削试验

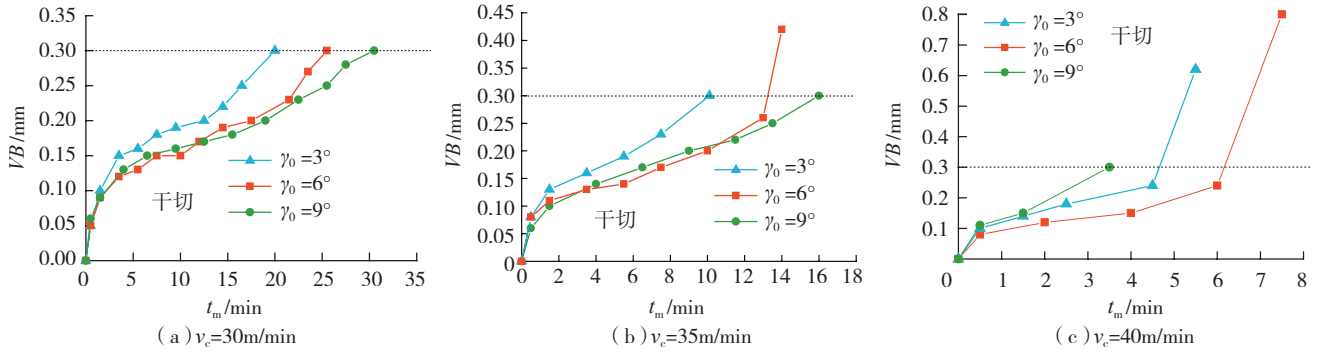


图6 VB -  $t_m$ 关系曲线

Fig.6 VB -  $t_m$  relation curve

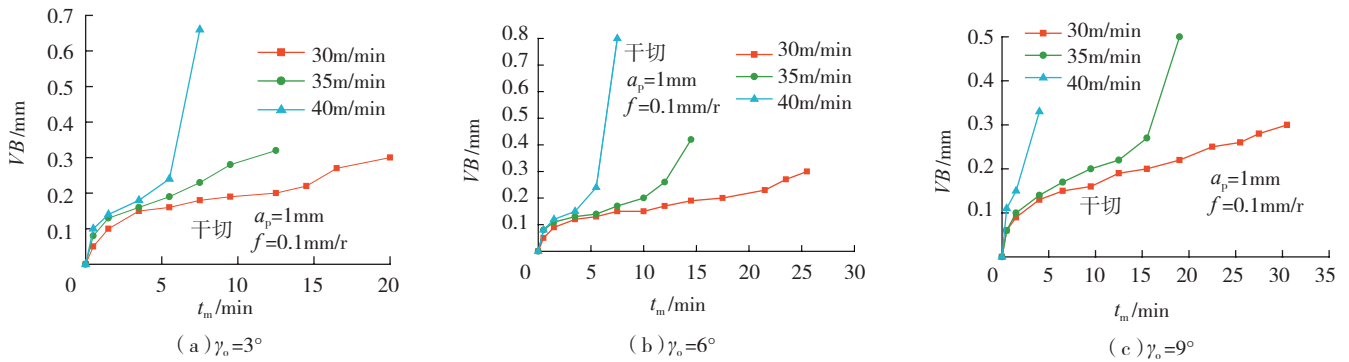


图7 刀具磨损曲线

Fig.7 Cutting tool wear curve

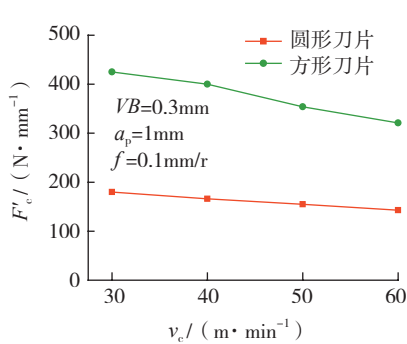


图8  $F_c^1 - v_c$ 关系曲线

Fig.8  $F_c^1 - v_c$  relation curve

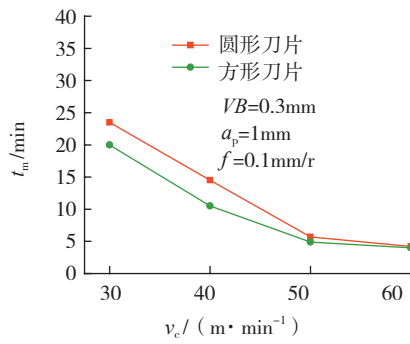


图9  $t_m - v_c$ 关系曲线

Fig.9  $t_m - v_c$  relation curve

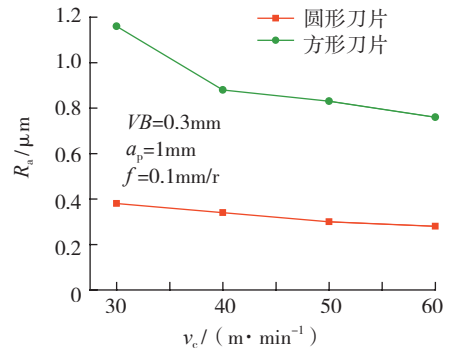


图10  $R_a - v_c$ 关系曲线

Fig.10  $R_a - v_c$  relation curve

文献报导,切削GH4169宜用圆形刀片。为此,进行了与正方形刀片的对比切削试验,试验设备仪器均与第1节提到的相同,只是所用两种刀片均为美国肯纳公司生产的K313(相当于M20),型号RPGN120300、SPGN120304,刀片与刀具的 $\gamma_0=0^\circ$ , $\alpha_0=11^\circ$ , $\lambda_s=0^\circ$ 。试验采用单因素法,即固定 $f=0.1\text{mm/r}$ , $a_p=1\text{mm}$ ,改变 $v_c=30、40、50、60\text{m/min}$ ,干切。

切削刃单位长度切削力 $F_c^1$ 、 $VB=0.3\text{mm}$ 时的切削时间 $t_m$ 、加工表面粗糙度 $R_a$ 与 $v_c$ 的关系曲线分别如图8、9、10所示。

由图8~10不难看出:(1)圆形刀片的单位切削力 $F_c^1$ 明显小于正方形刀片,仅为后者的40%。(2)圆形刀

片的切削时间 $t_m$ 长于正方形刀片,耐磨性能更好。(3)圆形刀片的加工表面粗糙度 $R_a$ 比正方形刀片小得多,仅为正方形刀片的40%。

## 2 结论

(1) 高效车削Ni基高温合金GH4169时,TiAlN涂层为宜。

(2) 高效车削Ni基高温合金GH4169时,主偏角 $\kappa_r=45^\circ$ ,前角 $\gamma_0=3^\circ\sim 9^\circ$ ,其中 $v_c \leq 35\text{m/min}$ 时, $\gamma_0=9^\circ$ 为宜, $v_c > 35\text{m/min}$ 时, $\gamma_0=6^\circ$ 好些。

(3) 高效车削Ni基高温合金GH4169时,圆形刀片更合适。

(责编 小城)