

# 涂层硬质合金刀片切削性能的试验研究

## A Study on the Cutting Performance of Coated Carbide Tools

侯新志

Hou Xinzhi

(上海工程技术大学 上海市仙霞路 350号 200335)

(Shanghai University of Engineering and Technology, 350 Xianxialu, Shanghai, 200335)

**摘要** 为确定涂层硬质合金刀片的切削效果,对国产 TiC涂层与不涂层的硬质合金可转位式刀片在相同的切削条件下进行切削力、刀具磨损、摩擦系数等试验。试验结果表明 TiC涂层硬质合金刀片在提高切削性能方面效果是显著的,使切削力与摩擦系数降低 10%~15%。

**关键词** TiC涂层硬质合金刀片 刀具耐用度 切削力

中图法分类号 TG 711

**Abstract** To make sure the cutting efficiency of the Chinese-made coated carbide tools, the wear resistance as well as cutting force, coefficient of friction of the adjustable-position cutting tools coated and uncoated inserts were tested in the same cutting conditions. The results showed that the coated one had remarkable advantages of extending tool life and improving cutting efficiency with frictional coefficient declining by 10% to 15%.

**Key words** TiC-coated carbide tool, wear resistance, cutting forces

在现代工业中,高强度、高硬度、耐热等金属材料应用越来越广泛,新材料的切削加工,要求具有高性能的刀具材料,尤其是复杂刀具的应用及机械自动生产系统。在一些工业先进的国家中涂层硬质合金可转位式刀具的使用已超过 65%。

由于涂层工艺的不断成熟和设备的不断完善,国外对涂层硬质合金刀片的性能研究很重视,而我国对它的研究显欠缺。因此,对国产涂层硬质合金刀片的切削性能进行试验研究具有较大的经济意义。

本课题试验目的是对上海硬质合金厂提供的 TiC涂层与不涂层的硬质合金可转位式刀片在相同的切削条件下进行对比试验,包括刀具磨损与刀具耐用度、切削力与前刀面摩擦系数的试验,以确定涂层硬质合金刀片的切削效果,为推广我国生产的涂层硬质合金可转位式刀片提供理论和实践依据。

### 1 试验材料

用 CVD法涂层生产的 TiC涂层硬质合金刀片。由上海硬质合金厂提供。

### 2 试验内容与试验方法

#### 2.1 切削力试验

2.1.1 测力方法及装置: 采用八角环电阻应变片式测力仪测力。ES-1A 标准测力环标定。

2.1.2 试验条件: C6140车床,机械夹固式刀具, YT14为基体的 TiC涂层刀片及 YT14不涂层刀片,几何角度为  $\gamma_0 = 20^\circ$ ,  $\alpha_0 = 6^\circ$ 。无切削液。

2.1.3 切削用量:  $a_p = 0.5 \text{ mm} \sim 3.0 \text{ mm}$

$$f = 0.10 \text{ mm/r} \sim 0.40 \text{ mm/r}$$

$$v = 60 \text{ m/min} \sim 120 \text{ m/min}$$

#### 2.2 刀具磨损与耐用度试验

2.2.1 试验设备及装置: 机床、刀具同切削力试验。测量工具为 10倍读数显微镜。

2.2.2 切削用量:  $a_p = 1.25 \text{ mm}$

$$f = 0.2 \text{ mm/r}$$

$$v = 139 \text{ m/min}$$

2.2.3 试验方法: 用纵切外圆方法,每隔一定的切削长度测量一次后刀面磨损量  $VB$ 。初期磨损阶段相隔的切削长度较短,达到正常磨损阶段相隔较长的切

削长度进行测量,在剧烈磨损前后又取较短的切削长度间隔。

### 3 试验结果

#### 3.1 切削力试验结果

切削力试验结果见表1 表2 表3及图1 图2

表1 改变切削深度  $a_p$  时的切削力值

Table 1 Cutting forces at different cuts ( $a_p$ )

分力 Force	材料 Material	平均切削力 Average cutting forces (kg)					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$F_z$	涂层 Coated	21.0	37.1	51.9	66.7	80.3	96.3
	未涂层 Uncoated	24.7	45.7	63.0	80.3	96.3	117
$F_y$	涂层 Coated	8.4	13.3	16.9	20.5	24.1	26.5
	未涂层 Uncoated	12.1	18.1	24.1	28.9	33.7	38.6

$v = 60 \text{ m/min}, f = 0.2 \text{ mm/r}$

表2 改变进给量  $f$  时的切削力值

Table 2 Cutting forces at different amount of feed ( $f$ )

分力 Force	材料 Material	平均切削力 Average cutting force (kg)							
		0.10	0.15	0.20	0.24	0.30	0.33	0.35	0.40
$F_z$	涂层 Coated	30.8	42.1	53.1	61.8	74.1	77.8	84.0	92.6
	未涂层 Uncoated	37.1	48.2	60.5	70.6	82.7	92.6	95.1	105
$F_y$	涂层 Coated	12.1	15.7	20.5	24.1	28.9	30.1	31.3	37.4
	未涂层 Uncoated	12.1	16.9	20.5	24.1	28.9	31.3	33.7	38.4

$v = 60 \text{ m/min}, a_p = 1.5 \text{ mm/r}$

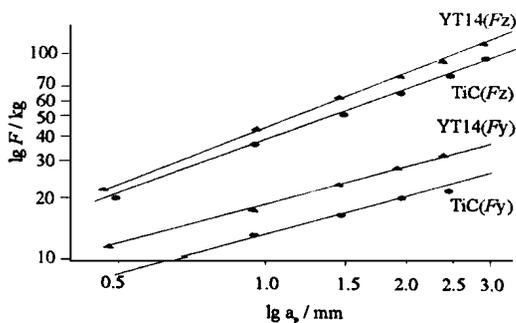


图1  $\lg F - \lg a_p$

Fig. 1 Diagram of  $\lg F - \lg a_p$

用最小二乘一元线性回归分析法,求得切削力的表达式为:

$$\text{涂层: } F_z = 135.23a_p^{0.84}f^{0.80} \quad F_y = 51.51a_p^{0.64}f^{0.73}$$

$$\text{未涂层: } F_z = 151.81a_p^{0.85}f^{0.77}$$

$$F_y = 65.84a_p^{0.65}f^{0.83}$$

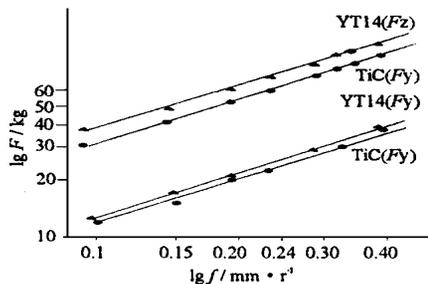


图2  $\lg F - \lg f$

Fig. 2 Diagram of  $\lg F - \lg f$

表3 多因素法切削力值

Table 3 Cutting forces from multifactorial method

分力 Force	材料 Material	平均切削力 Average cutting forces (kg)								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$F_z$	涂层 Coated	12.4	55.6	119	25.9	74.1	30.9	39.5	14.8	74.1
	未涂层 Uncoated	13.6	61.8	127	37.1	75.3	40.8	43.2	27.2	85.2
$F_y$	涂层 Coated	7.2	18.1	36.2	12.6	24.1	14.5	7.1	9.6	30.1
	未涂层 Uncoated	12.1	27.7	57.8	13.3	26.5	25.3	15.7	13.3	34.9

I :  $v = 60 \text{ m/min}, f = 0.1 \text{ mm/r}, a_p = 0.5 \text{ mm};$  II :  $v = 60 \text{ m/min}, f = 0.24 \text{ mm/r}, a_p = 1.25 \text{ mm};$  III :  $v = 60 \text{ m/min}, f = 0.4 \text{ mm/r}, a_p = 2 \text{ mm};$  IV :  $v = 90 \text{ m/min}, f = 0.1 \text{ mm/r}, a_p = 1.25 \text{ mm};$  V :  $v = 90 \text{ m/min}, f = 0.24 \text{ mm/r}, a_p = 2 \text{ mm};$  VI :  $v = 90 \text{ m/min}, f = 0.4 \text{ mm/r}, a_p = 0.5 \text{ mm};$  VII :  $v = 120 \text{ m/min}, f = 0.1 \text{ mm/r}, a_p = 2 \text{ mm};$  VIII :  $v = 120 \text{ m/min}, f = 0.24 \text{ mm/r}, a_p = 0.5 \text{ mm};$  IX :  $v = 120 \text{ m/min}, f = 0.4 \text{ mm/r}, a_p = 1.25 \text{ mm}$

表4 切削长度与后刀面磨损量  $VB$  的试验记录

Table 4 Cut and wear of tool rear face ( $VB$ )

切削长度 Cut (mm)	$VB$			
	涂层 Coated	未涂层 Uncoated	涂层 Coated	未涂层 Uncoated
235< 1	0	0		
235< 2	10	11		
235< 3		15		
235< 4	12			
235< 5				22
235< 6				
235< 7	20			22
235< 8				22
235< 9				
235< 10	20			
235< 11				29
235< 12	21			35
235< 13				
235< 14	21			
235< 15				
235< 16	25			
235< 17				
235< 18		29		
235< 19		34		
235< 20				

用多元线性回归方法,求得切削力的表达式为:

$$\text{涂层: } F_z = 127a_p^{0.98} f^{0.72} v^{-0.31}$$

$$F_y = 70.76a_p^{0.44} f^{0.55} v^{-0.12}$$

$$\text{未涂层: } F_z = 154.93a_p^{0.82} f^{0.72} v^{-0.03}$$

$$F_y = 101.73a_p^{0.40} f^{0.54} v^{-0.14}$$

### 3.2 耐用度试验结果

耐用度试验结果见表4 图3

以切削长度  $l$  为横坐标,后刀面磨损值  $VB$  为纵坐标,作涂层与不涂层硬质合金刀具的磨损曲线(图3)。

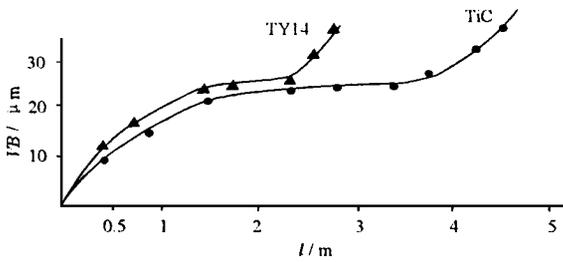


图3 磨损曲线

Fig. 3 Wear curve

### 3.3 摩擦系数 $\mu$ 计算

计算公式为:  $\mu \approx \text{tg}(V_0 + \text{tg}^{-1} \frac{F_y}{F_z})$ , 式中  $F_y, F_z$

用测力仪直接测出,  $V_0 = 20^\circ, \mu - a_p$  关系见表5及图4

表5 摩擦系数  $\mu$  与  $a_p$  关系

Table 5 Relationship between frictional coefficient  $\mu$  and  $a_p$

材料 Material	$\mu$				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
涂层 Coated	0.831	0.782	0.780	0.746	0.710
未涂层 Uncoated	0.888	0.867	0.833	0.818	0.789

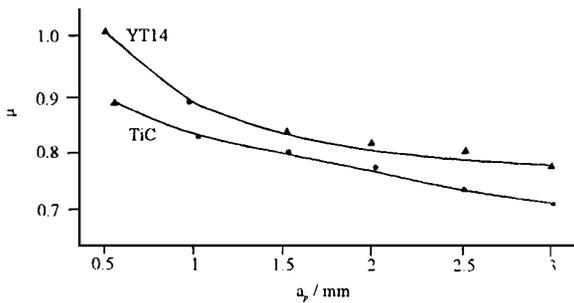


图4  $\mu - a_p$  曲线

Fig. 4  $\mu - a_p$  curve

## 4 讨论

从硬质合金刀具磨损分析可知,在较高的切削速

度范围内,磨损主要由粘结磨损、扩散磨损及氧化磨损等组成,因此,在刀具表面及刃口上加一层保护膜以减少各种形式的磨损必然会使刀具的切削性能得到提高。TiC能有效地抵抗刀具各种形式的磨损,使刀具耐用度大大提高,或在一定的刀具耐用度下允许的切削速度提高。

TiC涂层刀片与切屑、工件间的摩擦系数小于未涂层刀片,这可能是刀具在使用时切削力降低的主要原因。在同样的切削条件下, TiC涂层刀片切削后后刀面磨损很小,而未涂层刀片在切削后则出现了磨损,在后刀面上形成一个后角为  $0^\circ$ , 宽度为  $VB$  的小平面,使刀具后刀面与工件接触面增大,所以造成切削力增大。

TiC等各种涂层最大的缺点是脆性大,抗弯强度低,所以只能以极薄的 ( $5\mu m \sim 9\mu m$ ) 涂层形式借助于基体的韧性和抗弯强度来发挥其高耐磨性。尽管如此,若用于重负荷及振动较大的切削加工中,涂层将难以发挥显著作用。此外为保证刃口涂层质量稳定,刀片涂层前需经倒角,涂层后,刃刀锋利程度有所下降。涂层刀片在低速范围内易发生剥落现象,因此不适宜小进给量及低速范围使用。涂层刀片仅适用于各种钢与铸铁的精加工、半精加工以及非间断切削的粗加工。

TiC涂层刀片不适用于加工钛合金、奥氏体不锈钢、镍基合金等,可能是涂层材料易与这些材料发生化学亲和作用,从而使粘结倾向加大,加剧刀具磨损。

## 5 结语

上述试验结果表明, TiC涂层硬质合金刀具在提高切削加工性能方面效果显著,不但使切削力与摩擦系数降低  $10\% \sim 15\%$ , 从而降低了功率消耗,而且也减少了刀具磨损,使刀具耐用度提高了倍以上,降低了刀具材料的消耗,涂层费用仅增加  $30\% \sim 50\%$ , 从而使总成本降低。或者在相同的刀具耐用度下提高切削速度,使生产率得以提高。随着涂层工艺及设备的进一步完善,其性能也将进一步提高。

### 参考文献

- 1 周泽华主编. 金属切削原理. 上海: 上海科技出版社, 1993.
- 2 袁哲俊等. 金属切削理论与技术的新进展. 华中理工大学出版社, 1995.

(责任编辑: 蒋汉明)