

# 陶瓷刀具在不同切削速率累積作用下之可靠度變化探討

林維新<sup>1</sup> 謝合鈞<sup>2</sup> 曾加宏<sup>2</sup> 李昱麟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系 副教授

<sup>2</sup>國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系 學生

## 摘 要

本論文主要以對數常態分布模式來描述陶瓷車刀在各種不同切削速率累積作用下之刀具可靠度變化。在切削過程中，刀腹磨耗量會隨著切削時間之增加而增加，切削速率愈大時，刀腹磨耗速率會愈快，刀具壽命會愈短。從可靠度的觀點來看，刀腹磨耗量增加，意謂著刀具之可靠度降低。經由實驗結果發現，當切削速率增大時，可靠度曲線之退化會愈快，也就是說刀具之可靠壽命會愈短；以不同切削速率累積切削時之刀腹磨耗可靠度變化與使用固定速度切削時之刀腹磨耗可靠度變化具有很大的正相關性。

**關鍵字：**刀具壽命、刀腹磨耗，對數常態分布、可靠度

## 壹、前言

以切削加工為主體之生產加工系統,除了追求生產流程順暢,加工效率提昇,以及品質穩定、生產成本降低等以外,近年來更朝向自動化、省力化、無人化之方向發展。為了達成這些目標,刀具壽命之正確掌握非常重要。

自從泰勒式 [1] 提出刀具壽命方程式以後,陸續有許多學者專家探討刀具壽命方面之問題。Wu [2] 以期望表面粗糙度預測刀具壽命, Wager 和 Barash [3] 以高速鋼車刀進行上百次之刀具壽命試驗後發現,刀具壽命值為統計分佈,其分布趨近於常態分佈。Ramalingam 和 Watson [4] 則以失效率函數說明單一損傷和多種損傷時之刀具壽命模式。

Hitomi 等 [5] 依據金屬切削試驗所得到之刀腹磨耗試驗值進行切削刀具之可靠性分析,經由分析發現,刀腹磨耗趨近於對數常態分佈, Hitomi 等更進一步由刀腹磨耗分佈推導出刀具壽命分佈及切削刀具之可靠度函數。EI Wardany 和 Elbestawi [6] 依據 Hitomi 等之研究結果,將刀腹磨耗分布假設為對數常態分布,並推導出可靠度函數。

對於少樣多量之生產加工(例如軸承零件之加工),刀具常在固定切削速率下使用,直到刀腹磨耗量到達某一特定值以後才更換刀具;此時刀具更換時間可使用固定加工時間或固定加工件數之方式來控制。但對於多樣少量之生產加工(例如模具之加工),可能使用同一把刀具進行工件之粗加工和精加工,或者是當零件A 加工完成以後,刀具壽命可能尚未結束,因此仍繼續加工零件B;但此時

$$V_B = \Psi ( v, f, d, t ) \quad (2)$$

之切削速率可能與加工零件A 時之速率不一樣,結果刀具可能要經歷各種不同切削速率作用以後,刀腹磨耗量才會達到規定之特定值。由於刀具要經歷不同之切削速率作用,造成刀具壽命很難正確地掌握;對於自動化生產加工言,刀具更換時間要如何擬定,便產生很大困擾。有關於固定切削條件時之刀具壽命分析、預測與監控方面之研究很多 [7-12],但有關於切削刀具在不同切削條件累積作用時之刀腹磨耗變化情形,則鮮少有人探討 [13-15]。本文即針對此問題,經由切削實驗瞭解陶瓷刀具在不同切削速率下累積切削時之刀腹磨耗變化,並由刀腹磨耗變化進一步分析刀具可靠度變化;利用對數常態分布模式來描述刀具可靠度,由刀具之可靠度變化曲線可以推測刀具之可靠壽命。

## 貳、可靠度方程式

依據 Hitomi 等 [5] 及 EI Wardany 和 Elbestawi [6] 之推導,將平均刀腹磨耗  $V_B$  之分佈假設為對數常態分佈,則刀腹磨耗分佈之機率密度函數(probability density function)  $f(V_B)$  可表示為

$$f(V_B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma V_B} \exp\left(-\frac{(\ln V_B - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

在此之 $\mu$ 和 $\sigma$ 分別表示平均刀腹磨耗之對數常態分佈的平均值和標準差。

若平均刀腹磨耗  $V_B$  為切削條件(切削速度  $v$ , 進給速率  $f$ , 切削深度  $d$  及切削時間  $t$ )之函數,即則

$$\mu = E [\ln V_B] = \ln[\Psi(v, f, d, t)] \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \text{Var} [\ln V_B] = E[(\ln V_B - \mu)^2] \quad (4)$$

假設平均刀腹磨耗 \$V\_B\$ 與切削條件之間具有指數函數之關係，也就是

$$V_B = c v^{b_1} f^{b_2} d^{b_3} t^{b_4} \quad (5)$$

在此，\$c, b\_1, b\_2, b\_3, b\_4\$ 為常數，其值由實驗得之。將 \$c, b\_1, b\_2, b\_3, b\_4\$ 求出以後，可以得到平均刀腹磨耗分佈之機率密度函數 \$f(V\_B)\$ 為

$$f(V_B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma V_B} \exp\left(-\frac{[\ln V_B - \ln(c v^{b_1} f^{b_2} d^{b_3} t^{b_4})]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

切削刀具在時間 \$t\$ 以前發生損壞之機率為

$$P(\tau < t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (7)$$

在此，\$\tau\$ 為刀具發生損壞之時間。

如果刀具壽命結束時之刀腹磨耗量為 \$V\_B^\*\$ 的話，則在時間 \$t\$ 發生刀腹磨耗到達壽命極限值之機率為

$$P(V_B \geq V_B^*) = 1 - \int_0^{V_B^*} f(V_B) dV_B \quad (8)$$

假設 \$P(\tau < t) = P(V\_B \geq V\_B^\*)\$，則

$$\int_0^t f(\tau) d\tau = \int_0^{V_B^*} f(V_B) dV_B \quad (9)$$

將式(6)之 \$f(V\_B)\$ 代入式(9)，重新整理並對 \$t\$ 微分以後，可以得到刀具壽命之機率密度函數 \$f(t)\$ 為

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\frac{\sigma}{b_4})t} \exp\left[-\left(\frac{\ln T_v - \ln t}{\sqrt{2}(\frac{\sigma}{b_4})}\right)^2\right] \quad (10)$$

在此，\$T\_v\$ 為平均刀腹磨耗量到達 \$V\_B^\*\$ 值之時間。可靠度函數 \$R(t)\$ 可由下式求出

$$R(t) = 1 - P(\tau < t) =$$

$$\int_t^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\frac{\sigma}{b_4})t} \exp\left[-\left(\frac{\ln T_v - \ln t}{\sqrt{2}(\frac{\sigma}{b_4})}\right)^2\right] dt \quad (11)$$

依據 Gnedenko 等[16]及 Lewis[17]之處理程序，由於刀腹磨耗而造成刀具失效之機率可以表示為期望刀具壽命 (\$T\_0\$)和壽命長度之變異數(\$\text{Var}[\tau]\$)之函數，\$T\_0\$和 \$\text{Var}[\tau]\$可以表示為

$$T_0 = T_v \exp\left[\frac{(\frac{\sigma}{b_4})^2}{2}\right] \quad (12)$$

$$\text{Var}[\tau] = T_0^2 \left[\exp\left(\frac{(\frac{\sigma}{b_4})^2}{2}\right) - 1\right] \quad (13)$$

由式(12)和式(13)可以得到失效率函數 \$h(T)\$ 為

$$h(T) = \frac{1}{\sqrt{\text{Var}[\tau]}(\frac{\sigma}{b_4})} \exp\left[\frac{T - T_0}{\sqrt{\text{Var}[\tau]}}\right] \quad (14)$$

## 參、實驗方法



圖1 切削實驗用CNC車床

爲了瞭解刀腹磨耗變化情形，使用陶瓷車刀對 S55C 高碳鋼材料進行刀具壽命之乾切削試驗。切削試驗是在勝傑公司製 CNC 車床（如圖1所示）上進行，車刀使用日本三菱公司製 TNGA160404 A65 捨棄式陶瓷車刀片。將工件材料實施調質處理，使其硬度達到 HRC 36~38 度。首先進行固定切削速率之切削試驗，將進給速度  $f$  和切削深度  $d$  固定 ( $f = 0.2 \text{ mm/min}$ ,  $d = 1.0 \text{ mm}$ )，切削速率分別採用 100, 200 和 300  $\text{m/min}$  車削適當時間間隔以後便將刀片卸下，利用工具顯微鏡（如圖2所示）測量刀腹磨耗量  $V_B$  之值，刀腹磨耗之測量方法如圖3所示 [18]，切削過程中之刀腹磨耗情形如圖4所示。利用工具顯微鏡在量測範圍內取五點刀腹磨耗值，然後予以平均而得到平均刀腹磨耗值。每一切削條件皆進行到刀腹磨耗量  $V_B$  之值接近或超過 0.4mm 才停止切削。



圖2 工具顯微鏡

固定切削速率之切削試驗完成以後，接著進行改變切削速率之切削試驗。使車刀在某一較高切削速率下切削一段時間以後，再將切削速率降低到某一較低切削速率下繼續切削；或者是先使車刀在某一較低切削速率下切削一段時間以後，再將切削速率提高到某一較高切削速率下繼續切削，以觀察切削速率改變時之刀腹磨耗變化情形。

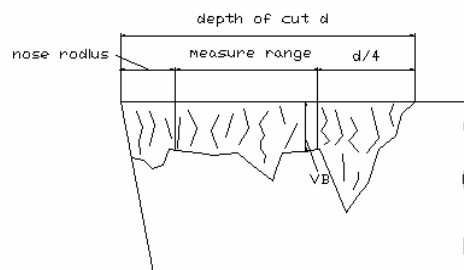


圖3 刀腹磨耗量測位置

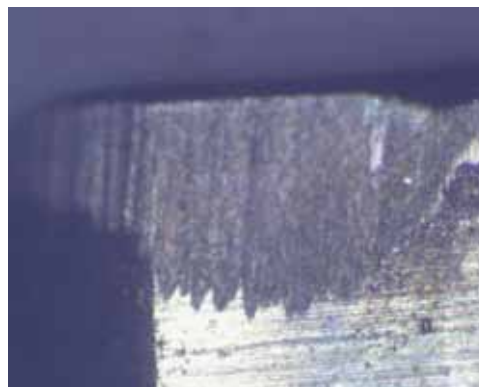


圖4 切削過程中之刀腹磨耗變化

## 肆、實驗結果與討論

隨著切削加工進行時之刀腹磨耗變化曲線如圖5所示，由圖5可看出，刀腹磨耗量會隨著切削時間之增加而增加，而當切削速率愈快時，刀腹磨耗速率會愈快，也就是說刀具壽命會愈短。

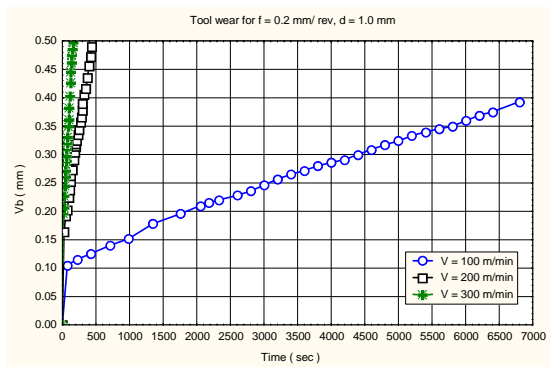


圖 5 切削過程之刀腹磨耗變化曲線

例如以  $V = 100 \text{ m/min}$  之切削速率切削，刀腹磨耗量達到  $0.3 \text{ mm}$  之時間為  $4400 \text{ 秒}$ ，但當切削速率為  $300 \text{ m/min}$  時，切削不到  $65 \text{ 秒}$  刀腹磨耗量便已達到  $0.3 \text{ mm}$ 。

經由切削實驗得到刀腹磨耗值，接著進行可靠度值計算。固定切削速率時之可靠度變化曲線如圖 6 所示，由圖 6 之可靠度變化曲線可看出，切削速率愈快時，可靠度曲線會愈陡，也就是說刀具可靠度之退化會愈快速。當切削速率愈慢時，可靠度曲線會愈平緩，刀具退化速率會愈慢。

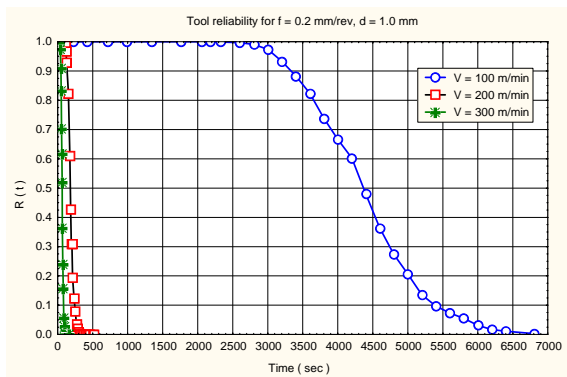


圖 6 固定切削速率時之可靠度變化曲線

刀具在不同切削速率累積作用時之可靠度變化曲線則如圖 7 及圖 8 所示，由圖 7 可看出，當切削速率由  $100 \text{ m/min}$  變為  $300 \text{ m/min}$  時，其可靠度曲線之變化趨向與固定切削速率時之趨向相同；切削速率由  $300 \text{ m/min}$  變為  $100 \text{ m/min}$  時亦如此。

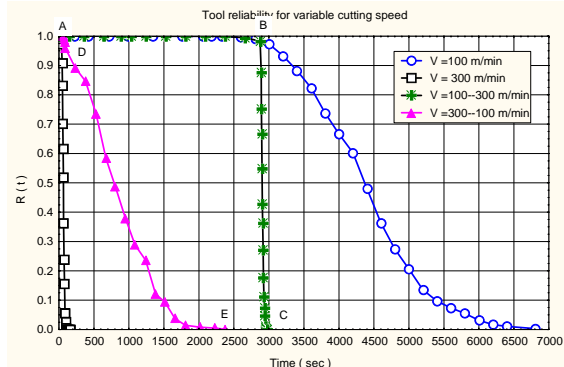


圖 7 不同切削速率累積作用時之可靠度變化 (1)

圖 8 所示為刀具在三種不同切削速率累積作用下之刀具可靠度變化，其趨向亦與圖 7 相似。由此可看出以不同切削速率累積切削時之刀腹磨耗可靠度變化與使用固定切削速率時之刀腹磨耗可靠度變化具有很大的正相關性。

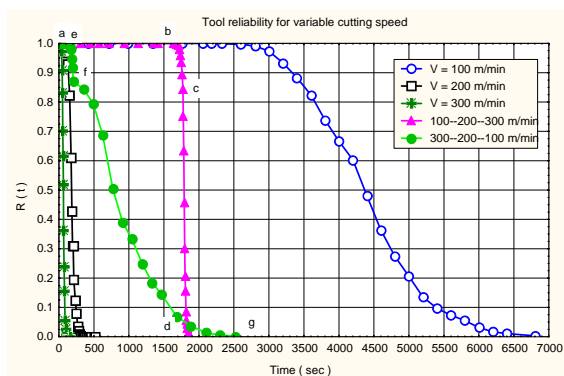


圖 8 不同切削速率累積作用時之可靠度變化 (2)

## 伍、結論

經由上述之實驗結果分析可以得到以下結論

1. 刀腹磨耗量會隨著切削時間之增加而增加，而當切削速率愈快時，刀腹磨耗速率會愈快，也就是說刀具壽命會愈短。
2. 切削速率愈快時，可靠度曲線會愈陡，也就是說刀具可靠度之退化會愈快速，刀具之可靠壽命會愈短。
3. 刀具在不同切削速率累積切削時之刀腹磨耗

可靠度變化與使用固定切削速率時之刀腹磨耗可靠度變化具有很大的正相關性。

## 陸、誌謝

本論文承蒙國立虎尾科技大學之經費援助，始得以順利完成，在此特予以誌謝。

## 參、考資料

1. Taylor, F. W., "On the art of cutting metals", ASME, Vol. 28, pp. 301-350. (1906).
2. Wu, S. M. "Tool life testing by response surface methodology", Journal of Engineering for Industry, ASME, Vol. 86, pp. 105-116 (1964).
3. Wager, J. G. and Barash, M. M., "study for distribution of the life of HSS tools", Journal of engineering for Industry, ASME, 73(4), pp. 295- 299 (1971).
4. Ramalingam, S. and Watson, J. D., "Tool life distribution", Journal of Engineering for Industry 99(3), pp. 519-531 (1977).
5. K. Hitomi, N. Nakamura and S. Inoue, Reliability Analysis of Cutting Tool, J. Engineering for Industry, Vol.101, pp,185-190 (1979).
6. T. I. L. I Wardany, and M A. Elbesttawi, Predichon of Tool Failure Ratein Turning Hardened Steels, Int. J. Advanced Manufact. Technol. Vol.13, pp. 1-16 (1997).
7. Zhou, c., Chandra, J. and Wysk, R., "Optimal cutting tool replacement based on tool wear status", Int. J. Prod. Res., Vol.28, No. 7, pp.1357-1367 (1990).
8. Mukherjee, S. N. and Basu, S. K., "Multiple regression analysis in evaluation of tool wear", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 7, pp. 15-21 (1967).
9. Kuljanie, E., "Random strategy method for determining tool life equations", Annals of the CIRP, Vol. 29, pp. 351-356 (1980).
10. Lamond, B. F. and Sodhi, M. S., "Using tool life models to minimize processing time on a flexible machine", IIE transactions, Vol. 29, pp.611-621 (1997).
11. Chao, P. Y. and Huang, Y. P., "An improved neural network model for the prediction of cutting tool life", J. of Intelligent Manufacturing, Vol. 8, pp.107-115(1997).
12. Jemielniak K., Szafarczyk M. and Zawistowski J., "Difficulties in tool life predicting when turning with variable cutting parameters", Annals of the CIRP, Vol. 34/1, pp. 113-116 (1985).
13. 林維新, 蕭恩柔, 林裕倫, 王鈺豪, 碳化鎢刀具在各種不同切削速度累積作用下之刀具壽命分析, 第十一屆國防科技學術研討會, 民國 91 年 11 月, 桃園。
14. 林維新, 林裕倫, 王鈺豪, 蕭恩柔, 陶瓷刀具在各種不同切削速度累積作用下之刀具壽命分析, 中國機械工程學會第十九屆全國學術研討會, 民國 91 年 11 月, 雲林。
15. 林維新, 林裕倫, 蕭恩柔, 陶瓷刀具在各種不同進給速度累積作用下之刀具壽命分析, 中國機械工程學會第二十一屆全國學術研討會, 民國 93 年 11 月, 高雄。
16. B. V. Gnedenko, Yu. K. Belyayev and A. D. Solovyev, "Mathematical Methods of Reliability Theory", Academic Press (1969).
17. E. F. Lewis, "Introduction to Reliability Engineering", John wiley &

Sons (1987) .

18. ISO, “ Tool life testing with single-point turning tools” , ISO, 5th draft proposal, ISO/TC 29/ WG 22(secretariat37), 91 (1972)

# **The Reliability Variation of Ceramic Cutting Tool Under the Cumulative Action of Different Cutting Speed**

**Wei-Shin Lin He-Jiun Hsieh Jia-Hong Tzeng Yu-Lin Li**

Department of Mechanical and Computer- Aided Engineering

## **Abstract**

This paper is used to describe the reliability variation of the ceramic cutting tool under the cumulative action of different cutting speed. In this paper, the lognormal distribution model was used to analysis the reliability of cutting tool. Through the cutting process, the values of the flank wear will be increased with the cutting time. The quicker the cutting speed, the faster the rate of flank wear, and the shorter of the tool life. From the pointed of reliability, it is indicated that the reliability of the cutting tool will be degraded with the increase of the flanker wear. According to the experimental results, it can be found that the quicker the cutting speed, the stepper the reliability curve of the cutting tool, and shorter the tool life. We also found that the reliability of the cutting under the cumulative action of different cutting speed has the positive relation with the constant cutting speed.

**Key words** : tool life, flank wear, lognormal distribution, reliability