

## 以機器視覺為基礎之刀具磨耗偵測

江育民

義守大學工業工程與管理系  
ymchiang@isu.edu.tw

葉書華

義守大學工業工程與管理系  
m9520017@stmail.isu.edu.tw

### 摘要

刀具之幾何輪廓與工件加工精度間有著密不可分的關係，若刀具產生定義誤差或因磨耗產生形狀誤差，則將影響產品精度甚或造成產品品質不良，故本研究因之發展一以機器視覺為基礎非接觸式之刀具磨耗偵測系統。本研究中首先提出適用之影像前處理方法，針對處理後之影像計算磨耗區域像素量，利用影像中像素灰階值差異，訂定適當閾值以框選磨耗範圍，進一步計算磨耗面積，最後依本研究訂定之報廢閾值，判斷該刀具是否報廢。研究結果顯示，透過機器視覺檢測刀具磨耗，在正常磨耗方面其結果與刀具磨耗壽命相同；在異常磨耗方面，測試時皆能夠有正確之判斷。最後藉由刀具磨耗偵測結果，即可在實際作業時據以判斷是否應更換刀具或做為刀具補償量計算之依據，進而提高產品精度與品質。

關鍵字：機器視覺、刀具磨耗、刀具狀態監控

### 壹、前言

傳統加工作業上，改善良率及提高生產量一直都是企業界迫切需要關注的問題，隨著科技的日新月異，對產品的精密度要求也越來越高，於是在產品製造過程中所需用到之工具及量測儀器也相對要更加精確，所以如何提高加工精度儼然成為科技發展中的關鍵技術。對於精密車削加工而言，影響產品的精密程度的因素有很多，最主要的原因有：定位伺服器控制系統、加工機台的震動以及刀具的磨耗和刀具在製造商生產時產生的初始輪廓誤差…等，一般傳統產業在刀具的使用上，都是等到已經產生不良品或是發現生產品質降低，才開始注意到刀具的磨耗程度。而發現刀具已經不堪使用後，更換刀具又要重新定位、校正、試車…等，一連串的作業皆過分仰賴人工，相當耗費時間，此將成為自動化生產流程的瓶頸之一。這類的自動化工廠為了節省成本同時提高產品品質，一方面大量地減少現場人員需求，另一方面同時增加了許多自動監測設備來取代減少的人力。

刀具加工時除了必須注意原先的特性、金屬的屬性、耐磨程度、耐高溫程度、耐腐蝕能力及切削條件…等，切削條件包括切削速度、進給及切削深度，還需考慮使用該刀具做加工之產品硬度，這些特性皆有助於精密度的提昇。在加工時，刀具的磨耗會更甚於金屬產品的磨耗，而磨耗所造成的誤差也相對使得加工的產品產生精度上的誤差，因此刀具的磨耗檢測和更換刀具時刀具的定位不但可以減低誤差的產生，更能提高產品生產的速度。目前刀具磨耗的相關研究，大多是著重於切削參數對刀腹磨耗以及壽命的關係、變更刀具幾何形狀的設計，或是針對刀具的材質改變探討，而針對刀具磨耗量測的探討有些研究都是以接觸式的量測方式，接觸式的量測有可能會因為接觸不當而造成錯誤的量測，因此本研究是以非接觸式的機器視覺量測系統，利用 CCD 擷取刀具影像後再用影像處理技術做刀具磨耗檢測。

本研究將針對車床加工機上之刀具磨耗量的改變為主，將結合其中部份文獻之方法，針對車床加工機上之捨棄式車刀取像，將已加工過固定時間後之刀具拆卸下來後做影像處理，再利用灰階、濾波…等影像處理方法後進而計算刀具磨耗量，期能發展出一套以機器視覺為基礎非接觸式之刀具磨耗判定輔助系統。雖然利用機器視覺系統做非接觸性的量測有諸多優點，但仍存在以下問題需要加以克服：如機器設備的架設、影像像素與實際物體距離之轉換、如何確定足以代表刀具磨耗之取像張數、CCD 鏡頭每次取像之定位、確定位移誤差量後如何進行補償之輔助，若能改善以上幾點問題，則應用機器視覺於工具機之加工作業將會更能夠提升作業速度及降低產品品質穩定度，屆時必能成為市場應用的主流。以下將粗略介紹目前應用機器視覺於刀具檢驗之相關文獻，針對刀具監控與定位探討各種特徵影像於視覺影像檢驗時需要注意之事項。

## 一、刀具狀態監控

刀具狀態監測(Tool Condition Monitoring, TCM)最重要的一環就是感測器，這關係到監測系統是否能正常運作，選擇正確的感覺器能夠事半功倍。其中最常被用來做刀具監測的感覺器有：切削力感測器、切削功率感測器(包括功率計、電流計)、AE(Acoustic Emission)感測器等，這些都是在切削加工過程中擷取欲診斷之物理量[3]。感測器之裝設必須符合下列要求：1.盡量接近切削點、2.不可減少加工機械原有之靜、動態剛性、3.不會被工件之加工參數所受限、4.價格低廉，更換容易，不影響工作進出、5.對切削液、切削、熱效應、電磁效應、機械動作等都不具影響、6.與刀具、工件的功能各自獨立，不受相互影響。

而監測刀具所使用的感測器可分為直接監測與間接監測兩大類，直接式刀具狀況感測，是指直接量測刀具幾何形狀與磨耗變化，雖然此種方法可提供最直接方式感測刀具狀況，然而切削加工時刀具與工件之間的接觸，使得在線上(In-process)不易進行量測，較適合以間段(In-cycle)方式進行，通常最常使用的感測技術有近接感測(Proximity)、放射感測(Radioactive)、視覺感測(Vision)；間接式刀具狀況感測是指量測切削過程相關切削製程參數，如切削力、震動、聲射等，利用這些製程參數間接地預測刀具是否磨耗、破損、等狀況發生，由於這些製程參數是在切削過程量測，所以間接式刀具狀況是屬於線上感測。而間接式刀具狀況感測又可分為切削力感測(Cutting force)、震動感測(Vibration)、聲射感測(Acoustic emission)。

大部分的刀具狀態監控文獻都是對刀具的表面、切削力…等做探討，而 Pfeifer & Wiegers [6]認為在刀具監控時需要配合適當的光源，才能達到最佳的監控狀態，不同的光源下擷取到的影像當然也不盡相同，在影像處理後也會因而找到不同的邊緣，該研究也在相同的取像環境下，利用不同的的光源做拍攝後再進一步比較。故針對每種刀具應該針對該研究所需之結果，在擷取影像時配合適切的光源，必能使後續之影像處理更加事半功倍。

Jurkovic et al. [4]利用機器視覺對捨棄式之刀片做檢驗，實驗方式是以模擬的方式在實驗室實際架設檢驗系統，配合紅外線雷射對刀具之尖端做檢驗，不僅可得到刀具磨耗的範圍大小，更可得到刀具磨耗之深度，並依其量測結果判斷該刀具為前傾面磨耗或離隙面磨耗。

## 二、刀具磨耗

切削工作進行時，由於切削溫度及切削力相當高，導致刀具之硬度降低產生變形，逐漸使刀具失去切削能力或使刀口形狀改變，於是使切削尺寸改變，實際切削量比預定切削深度小，且加工面會產生全面性或部分由光澤面變為粗糙，還有切削力增大、切削溫度升高、切削的型態改變、積屑範圍增大、動力消耗增加…等現象[2]，而刀具之磨耗方式可分為：摩擦式磨耗(Abrasion Wear)、熔著式磨耗(Welding Wear)、擴散式磨耗(Diffusion Wear)、化學及電解式磨耗、氧化式磨耗。另外，刀具的磨耗型態可依正常及異常來分類，正常磨耗可分為三種，前傾面磨耗(Crate Wear)又稱為凹陷磨耗、離隙面磨耗(Flank Wear)又稱為讓面磨耗及邊界磨耗，其中以前傾面磨耗和離隙面磨耗最為常見，異常磨耗則可分為碎缺及缺損。

Silva et al. [8]利用類神經網路之方法做磨耗種類的分類，輸入為速度、進給率、切削深度及切削時間，但不同於倒傳遞類神經網路，他們利用 SOM 及 ART2 的類神經方法將輸出結果分類，其實驗結果可發現在固定切削條件時，SOM 的分類結果會比 ART2 的分類結果更準確，但若輸入條件增加，ART2 的分類結果反而會比 SOM 更好。

Scheffer et al. [7]提到一般磨耗量的計算大多是利用切削條件做計算，但是對於車刀上的積屑形成就無法預測，故期能以影像監控系統對已經不堪使用的刀具做即時的偵測，該研究利用 SEM 掃描式電子顯微鏡取得之影像，再將其結果應用 SOM 進行分類，結果能在刀具運作時，線上即時將刀具磨耗的種類做判斷，藉此得作為更換刀具的依據，其輸入為切削條件，輸出為正常磨耗之種類。

## 三、刀具壽命之定義

以傳統之切削刀具之壽命結束可歸因於刀具磨耗逐漸增加，導致刀具破壞或刀具切削刀口突然破損。

因此刀具損壞將使切削工件表面品質劣化，所以透過使用直接或間接感測技術監控刀具表面品質將可判斷切削刀具之壽命是否即將結束，在此針對刀具壽命的定義加以說明。基本上刀具磨耗可分為讓面磨耗與凹陷磨耗[5]，讓面磨耗發生於刀具於離隙面，此種磨耗起因於工件與刀具之間之磨擦高熱，由圖 1 可看出讓面磨耗幾何外觀形狀可分成三區域。根據 ISO 對刀具壽命的定義，如果刀腹磨耗的平均磨耗值  $VB$  超過  $0.3\text{mm}$  或最大磨耗量  $VB_{\max}$  超過  $0.6\text{mm}$ ，則刀具使用已達刀具壽命。凹陷磨耗發生於刀具刀頂面上，此種磨耗起因於切屑與刀具之間接觸產生高溫造成刀具磨損。

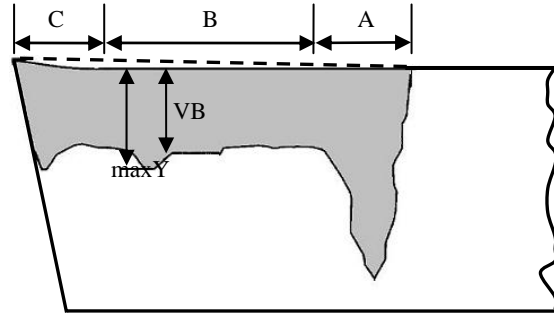


圖1：刀具磨耗型態示意圖

圖 2 為一般車刀刀具在進行切削時，讓面磨耗區寬度之變化情形，此曲線可分作三段說明，其中大部分的讓面磨耗是集中於圖 1 中 C 區域之刀尖部分：

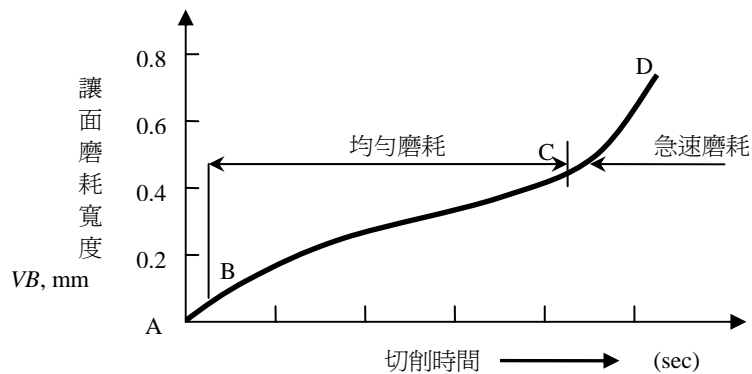


圖2：讓面磨耗區寬度變化

1. AB 段：初期磨耗區，銳利之刀口會快速的摩擦而有小的磨耗區出現。
2. BC 段：均勻磨耗區，磨耗約以直線等速增加，直至因快速磨耗率使刀具將近缺損為止。
3. CD 段：急速磨耗區，磨耗寬度及速度增加。本段因刀具溫度升高，故做為刀具磨耗敏感性反應之區域。其所以對刀具溫度敏感，是因為此時刀具磨耗區域已佔有全部區域相當大的比例。

#### 四、刀具磨耗量計算

在取得刀具之視覺影像後，必須利用影像上之像素大小作為校正誤差的補償量依據，故可利用一定位後之影像，求得像素距離與實際距離之轉換後，即可依照其像素量做為磨耗量大小判斷之依據。而影響視覺系統和定位的主要誤差因素有：CCD 感測器本身的光柵誤差、CCD 感測器本身像素靈敏和不均勻性、光學系統的像差、標定校正誤差及機台振動產生的誤差。一般應用於刀具磨耗量計算之探討，皆是利用高倍率之顯微鏡進行量測，再依據 ISO 對刀具壽命定義之磨耗大小來判斷該刀具是否已經報廢。而若要利用視覺影像來量測磨耗量，則必須有一套機制，將取得影像上之像素大小轉換為實際尺寸。

何友森、陳明飛 [1]利用自動對準系統一開始設定該軸總量測距離與起始基準點，再將總行程分成若干相等間距作為定位點，然後從基準點開始移動至定位點，並且紀錄各定位點之實際位移距離與標準



位移距離的誤差量，取其誤差量最大者及為定位精度，最後依據實驗結果換算出其磨耗大小。Jurkovic et al. [4]另外也曾提出由於刀具磨耗幾乎都是集中於刀尖，故採用視覺系統配合紅外線，利用影像中之灰度值大小的變化及紅外線反射的波長，經由成像原理和統計方法推導出影像中的實際尺寸並計算出磨耗範圍大小，而該研究也提到於影像擷取時必須盡量避免機台的震動。

## 貳、研究方法

本研究擬發展一套以機器視覺為基礎非接觸式之刀具磨耗判定輔助系統，藉由刀具磨耗量判定之功能來提高一般更換刀具之明確時機。此系統首先將基本的取像設備架設完成後，對架設好的刀具取像，之後分為兩個階段，分別是第一階段影像處理及第二階段磨耗判定，影像處理階段包括：影像擷取驅動與控制及影像處理，第二階段磨耗判定部分就直接依照定位結果進行磨耗量計算及磨耗分類。本研究採用的影像處理及磨耗量判斷之方法，研究方法可分成兩階段來做探討，分別為影像處理及磨耗判定，而磨耗判定部分本研究利用兩種方法做框選。詳細之步驟如圖 3 所示：

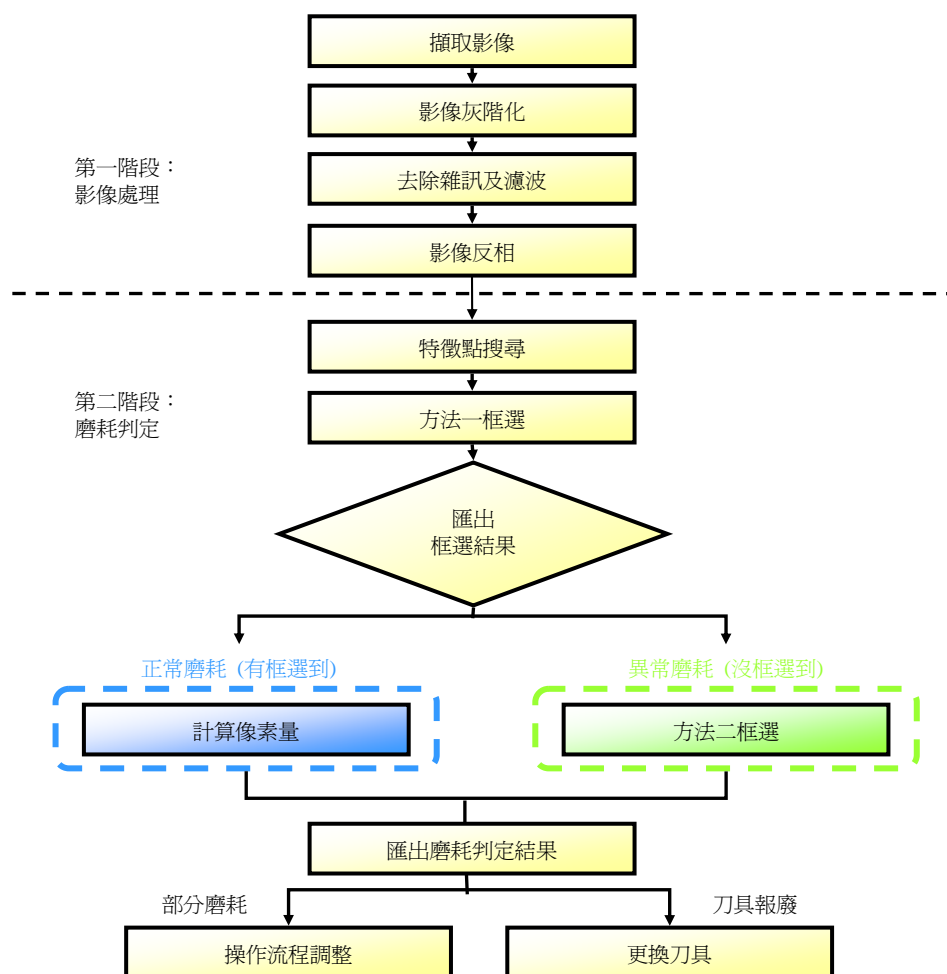


圖3：研究方法之步驟

### 一、擷取影像

在車床作業時，車刀上磨耗量的變化是決定操作人員進行校正補償的最主要依據，一般可透過操作人員累積的經驗來判斷移動大小，但是對於新進人員則無法準確判斷其校正大小，故若能藉由自動化檢測快速且準確的得知磨耗大小，則可避免許多不必要的浪費及培訓。為了避免影像有過多的異常雜訊或瑕疵造成判斷困難，本研究針對車刀刀具提出一套自動化檢測取像設備，並探討其設備適合之光源、感光元件及鏡頭，藉此降低影像處理之複雜度，同時加快影像處理之速度。而以下說明本研究所

採用之光源、感光元件及鏡頭種類：

- 1.光源：由於本研究所要檢測的對象為刀具上的磨耗，並不單純只是刀具外型的改變，其些微變化的輪廓界定並不清楚明確，故在光源的選擇上首先就排除背光模組，此外亦有文獻提到利用鹵素燈做為刀具檢測的光源，鹵素燈適合需要投射效果之物体，其有聚光之效果，但車刀刀具本身容易反光，相較於 LED 環型光源，使用鹵素燈較無法清晰且完整地看出磨耗，因此經過測試本研究在取像時，將以 LED 環型光源做為擷取影像時的配合光源。
- 2.鏡頭：在鏡頭選取方面，大致可分為定焦鏡頭及變焦鏡頭，一般來說定焦鏡頭之構造較簡單，其成像效果會比變焦鏡頭好，但受限於固定的焦距方能取像，相較於變焦鏡頭，變焦鏡頭較適用於無法靠近之遠距離拍攝，或是需要快速變換焦距之場合，例如單一產品中需檢測許多不同位置時，則可選用變焦鏡頭，其可減少許多換鏡頭的麻煩。而本研究之取像對象為固定位置之車刀刀具，且其待測範圍並不大，只要在特定條件下即可完成取像，故本研究是利用定焦鏡頭作為取像設備之鏡頭。
- 3.感光元件：一般視覺檢驗所採用之感光元件通常是 CCD 或是 CMOS，CCD 的特色在於充分保持信號在傳輸時不失真，透過每一個畫素集合至單一放大器上再做統一處理，可以保持資料的完整性；而 CMOS 的製程較簡單，沒有專屬通道的設計，因此必須先行放大再整合各個畫素的資料。整體來說 CCD 與 CMOS 兩種設計的應用，反應在成像效果上，比對單一放大器的 CCD，CMOS 最終計算出的雜訊就比較多。故本研究採用之感光元件為彩色 CCD，其彩色影像可保留原始影像之真實顏色，在測試階段做為各種影像處理之依據；而本研究應用之影像處理方法，則是先將影像轉為灰階，其可加快影像處理之速度亦不會失去原始影像之真實度。

## 二、影像灰階化

本階段的主要方向乃在於刀具定位，為加速系統辨識時間，本計畫擬採灰階影像加以處理。然而，由於彩色影像所含有之資訊較黑白影像豐富，為便於後續計劃延伸功能起見，本計劃在取像裝置上仍採用彩色影像擷取器，並使用 RGB 色彩空間取得影像資訊，故影像中每一像素(Pixel)點  $P(x, y)$  將包含  $R(\text{Red})$ 、 $G(\text{Green})$ 、 $B(\text{Blue})$  三個色彩之彩度值，每一種顏色之像素值都會介於 0~255 間，本研究中將以式(1)將彩色影像灰階化，其中  $I(x, y)$  為像素  $P(x, y)$  之灰階值(Grey Level)。

$$I(x, y) = (R + G + B) / 3 \quad (1)$$

## 三、去除雜訊及濾波

在擷取影像的過程中，由於外在環境因素的干擾，或刀具本身的污損，導致影像出現雜訊，影響整個影像資料的可用性。根據所需處理影像的不同，消除雜訊的方法亦不同，濾波遮罩之排序運算是一種非線性的濾波方式，主要是利用邏輯比較的運算，找出在遮罩裡所有點像素之灰度大小排序情形。一般最常利用的有均化濾波、高通濾波、中通濾波、低通濾波等；然而經過反覆的試驗後，發現以中通濾波(median filter)最適合本研究之影像，不僅能抑制不必要的雜訊，更能清楚保留影像中之磨耗資訊，且對於影像的邊緣亦能夠給予適度的保持，不致於像低通濾波器一樣將影像的邊緣消除，故本研究也將採用中通濾波法做為去除影像雜訊之工具。

而本研究所應用之中通濾波方法其基本運作原理與均化濾波相當相似，中通濾波藉由取中位數的方法去除數列中的極大與極小值，因一般皆認為雜訊會座落於影像中的極大或極小值，因此由此觀點而言，中通濾波藉由中位數取代作用點之像素值，故可以有效降低雜訊。此外也由於是中位數的緣故，所以即使是在連續多次中通濾波演算下，主體輪廓亦不會有太大的改變與破壞。

## 四、影像反相

影像反相的原理就類似於負片，對於負片其記錄顏色和運作原理，最主要的就是將影像上的所有光線及色調相反。由於灰階後的影像刀具磨耗的部份會呈現白色，在往後的辨識上較不易看出，故在此先將影像做反相以利後續之影像處理流程。

## 五、特徵點搜尋

經過濾波、灰階…等影像處理後，接下來則必須搜尋影像中的一些特徵點作為進一步磨耗判斷的依據，而從第二章之文獻探討中可得知，一般刀具正常磨耗皆集中於刀尖的位置，故此步驟的主要目的即為搜尋刀尖位置之特徵點。在刀尖的特徵搜尋的方面，本研究期望能建立一套可以適應刀具不規則形變、刀具磨損、刀具報廢…等狀況，其重點在於判定刀具的閾值和刀具邊界的偵測。以一張影像大小為  $640 \times 480$  之圖像，內有  $640 \times 480$  個像素，而在閾值的選取上，由於刀具影像與背景的色系相近，較難將刀具影像與背景做分離，而由於本研究主要是探討刀具磨耗之改變，只要取得刀具之輪廓即可，因此本研究利用 LED 環型光源，對模擬實際機台上之刀具做取像。而掃描影像之方向是先由上往下、由左往右依序搜尋特徵範圍，其橫向掃描的方式進行搜尋如圖 4 所示。

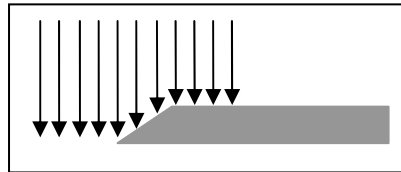


圖4：刀具搜尋方向示意圖

## 六、特徵點框選

在此部份本研究提出兩種方法，一是針對正常磨耗，二是針對刀尖位置之異常磨耗。首先介紹方法一是利用灰階值之特徵，經由先前的影像處理方法後，刀片磨耗區域會變成黑色像素(其灰階值為 0)，並將其黑色像素定義為已磨耗，接下來則必須利用該特徵值將磨耗範圍框選出來，以進一步針對該範圍進行磨耗量大小的計算。針對正常磨耗之刀具，本研究將利用九宮格的方法，一次讀取九個像素點由影像的最左上角開始往右、依序再由上往下掃描，同時對像素值為 0 之像素點依序編號，最後再將已編號之像素點予以框選，其示意圖如圖 5。利用特徵搜尋結果最大及最小 XY 座標值做為框選範圍，將框選範圍內之黑色像素點編號後，並輸出最後一個編號即為黑色像素之總數。



圖5：像素編號示意圖

方法二利用型態學之特徵，應用於正常磨耗之刀具外之異常磨耗刀具，對於異常磨耗、缺損之刀具，受限於取像設備之景深不足，本研究亦僅針對刀尖位置取像。而對於異常磨耗之刀具，本研究將利用影像灰階資訊，藉由合理閾值的設定來分別找出異常磨耗區域邊緣的 X 軸與 Y 軸座標。其方法主要乃先將整張影像中像素灰階值依水平(垂直)方向加總，再依垂直(水平)軸繪出像素灰階加總值，並由圖中之波谷來找出最佳閾值，其方法示意圖如圖 6。

而在閾值訂定方面，如圖 7 為以 Y 軸做橫向掃描並彙總像素灰階值所得到之像素點灰階差異圖(圖 6 逆時針旋轉  $90^\circ$ )，其中波谷右方平均差異較小是因為磨耗下方有因刀片反光及影像處理後所造成之黑色區塊，此部份並非磨耗故可忽略不列入考慮。故本研究在訂定 Y 軸之閾值時，將給予 Y 軸兩個閾值(閾值  $T_U$  及  $T_D$ )，如圖 7 所示。

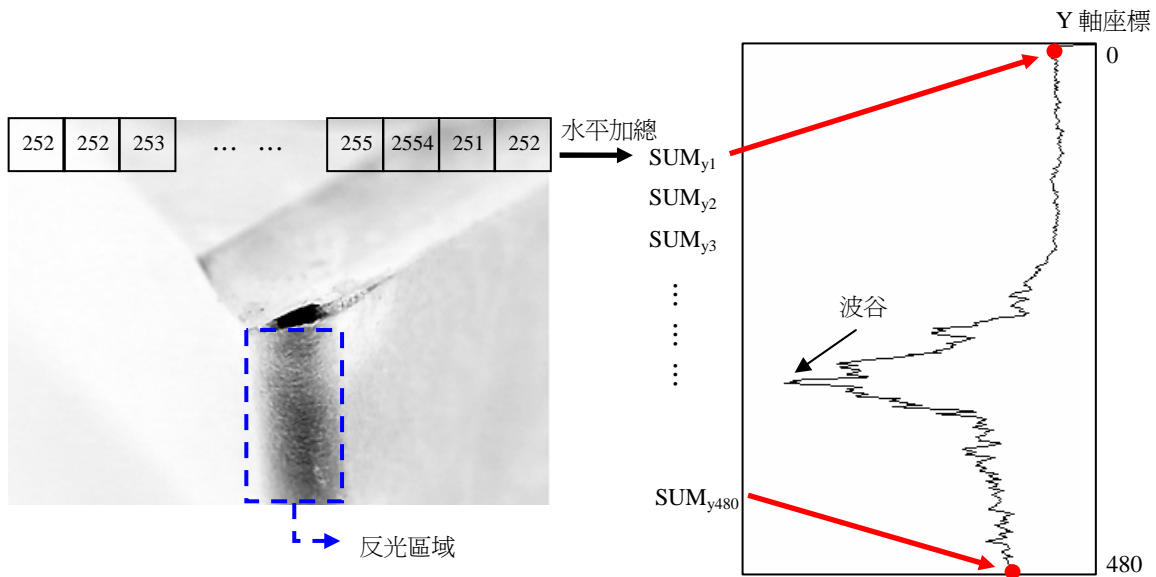


圖6：方法二框選示意圖

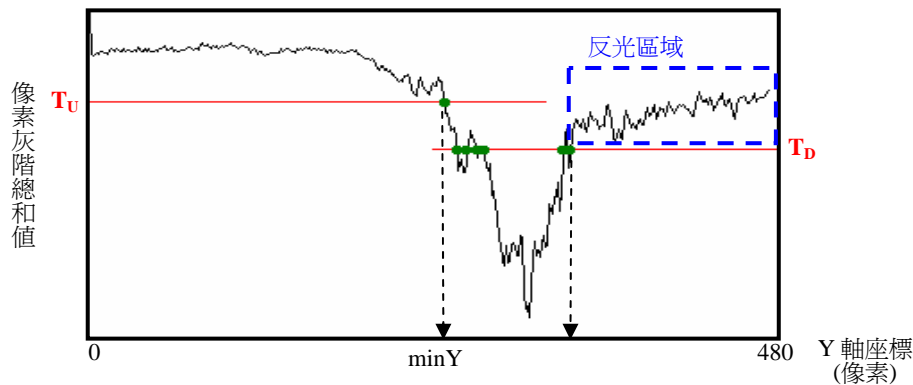


圖 7：Y 軸閾值設定示意圖

圖 8(A)為無磨耗刀具影像以 Y 軸做橫向掃描並彙總像素灰階值所得到之像素點灰階差異圖，將整張圖中之波谷位置之灰階總和值定為  $T_U$ ；波谷右方為反光區域，在訂定  $T_D$  閾值時不予考慮，故本研究中將  $T_D$  閾值訂為波谷左方像素灰階總和值之平均。圖 8(B)則為無磨耗刀具影像以 X 軸做橫向掃描之像素點灰階差異圖，以像素灰階總和之平均值訂定閾值  $T_V$ 。在給定閾值後，則利用其閾值與異常磨耗刀具影像之灰階差異圖上之交叉點，作為框選範圍之座標點；與閾值  $T_U$  交叉點中取最小值做為框選範圍之  $\min Y$  座標，與閾值  $T_D$  交叉點中取最大值做為框選範圍之  $\max Y$  座標，與閾值  $T_V$  交叉點中取最小值做為框選範圍之  $\min X$  座標、最大值做為  $\max X$  座標；得到所需框選範圍左上及右下之座標點後，即可進一步將磨耗範圍框選出來。

## 七、磨耗量計算及判定

在磨耗量計算這部份，對於正常磨耗之刀具，本研究將針對方法一框選後之範圍，利用黑色像素點的編號，即利用黑色像素點的總數量作為磨耗量大小的判定。配合文獻中所提到的讓面區域磨耗變化圖，以驗證利用本研究所提出之研究方法是否可行。而針對異常磨耗的磨耗量，則是將瀕臨報廢邊界之刀具，利用方法二框選後之像素面積做為判斷之依據，若大於該像素面積則判定該刀具為已報廢，反之若小於該像素面積則判定該刀具未報廢。判斷出刀具是否報廢後，即可利用該結果對操作程序做進一步修正；若該刀具已達報廢標準，則立即更換新的刀具，反之若該刀具未達報廢標準，則將依照



其磨耗程度做為操作流程上進刀量大小調整之依據。

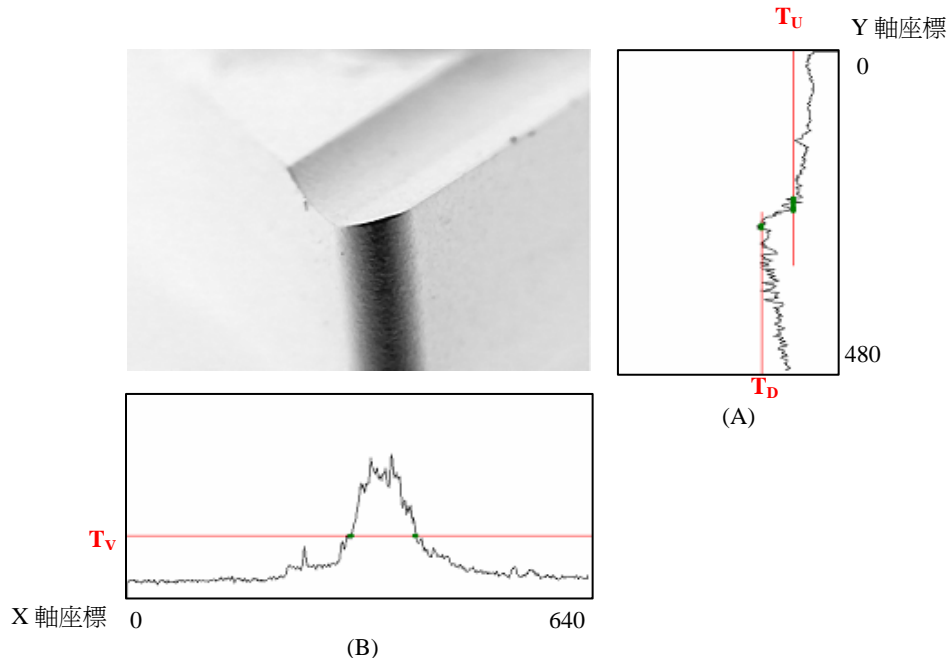


圖 8：無磨耗刀具影像灰階差異示意圖

## 參、研究成果

### 一、實驗及系統介紹

圖 9 為本研究之硬體架構圖，利用 CCD 取像後透過影像擷取器將資料傳輸到電腦做儲存及進一步的分析及控制各項擷取參數，並固定架設刀具的設備於鏡頭前，以便每次取像皆能有相同之角度。且本研究也將模擬實際操作時，工具機上之車刀擺放為橫向的，故在擷取影像時，視覺系統之架設也必須配合工具機之擺設，並且以不影響實際操作為主。因此本研究利用一訂製之壓克力基座來架設 CCD 及鏡頭，再利用角度固定器將 LED 環形光源固定於鏡頭與刀具間，而刀具亦是固定於訂製之壓克力箱上，將所有設備都固定後方能進行影像擷取之動作。此外，為了能更清楚看出刀具之磨耗，本研究在取像時刀具架設之角度為傾斜  $30^\circ$ 。

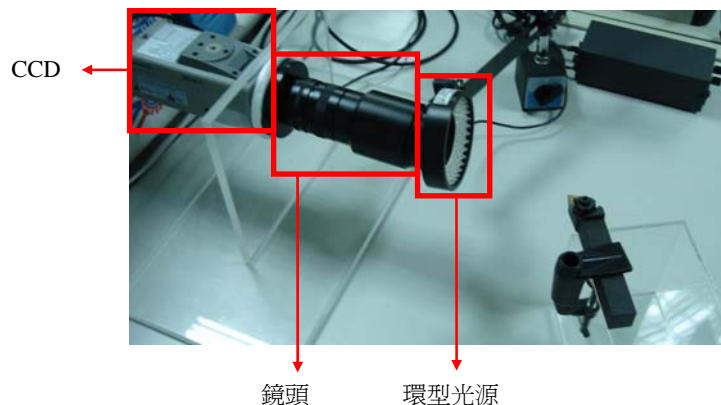


圖 9：實驗硬體架構圖

由文獻探討中可得知正常刀具磨耗幾乎都是在刀尖之位置，故本研究亦將僅針對刀尖位置做影像擷取並分析其磨耗程度。圖 10(A)為本研究實際架設之捨棄式車刀刀具，圖 10(B)為未使用過無磨損刀具刀



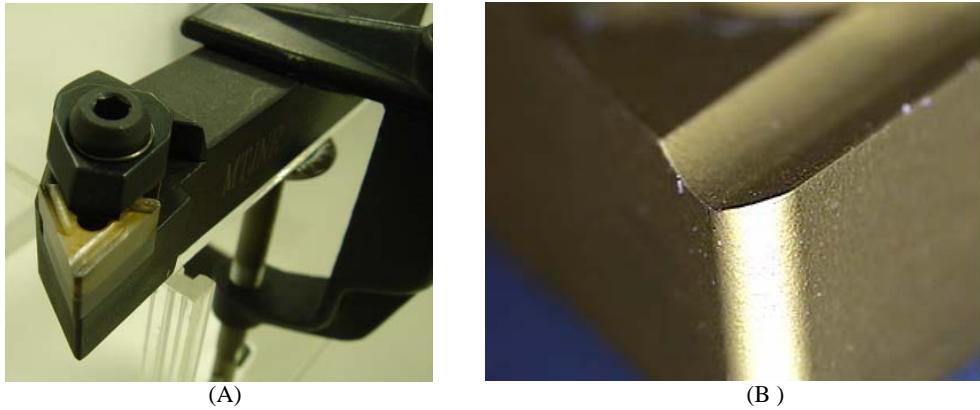


圖 10：實際刀具影像

本研究將實際使用過固定時間之刀具，配合機器視覺設備擷取影像，再利用影像處理方法將刀具上之磨耗辨識出來，方可進一步計算其磨耗大小。本研究將對一組作業時間分別為 15、30、45、60、75、90 分鐘之刀具做影像擷取，為盡可能保持刀具作業時的狀態，本研究於取像前也並沒有對刀具仔細的清洗，僅用一般作業時使用之潤滑油稍微去除表面灰塵，期能夠保持刀具作業時之最原始狀態。而本研究所使用的系統硬體 CPU 為 Intel Pentium4 3.0GHz，動態記憶體大小為 512MB；系統開發軟體部分則是使用 Borland C++ Builder 5.0 建構研究處理介面。

## 二、影像處理結果與分析

由於刀具本身之材質，經過環型光源打光後會造成嚴重反光，故本研究於取像時，將環型光源使用不同顏色之玻璃紙包覆。經由各種顏色之玻璃紙測試後，由影像可明顯看出紅色玻璃紙最不適合用於本研究，而藍色玻璃紙會使磨耗部份之影像變得模糊，黃色玻璃紙則無法減少反光，綠色玻璃紙最能夠保留完整磨耗資訊，同時減少磨耗下方之反光現象。

而本研究主要將針對正常磨耗之刀具做檢驗，如圖11 分別為作業時間 15 分鐘、30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘、75 分鐘、90 分鐘後之刀具；而對於異常磨耗之刀具本研究亦有提出初步的辨識方法，並將利用圖 12 之六張異常磨耗範例作為測試。

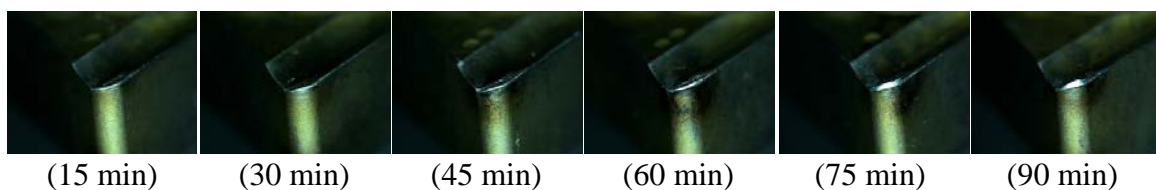


圖 11：正常磨耗之刀具

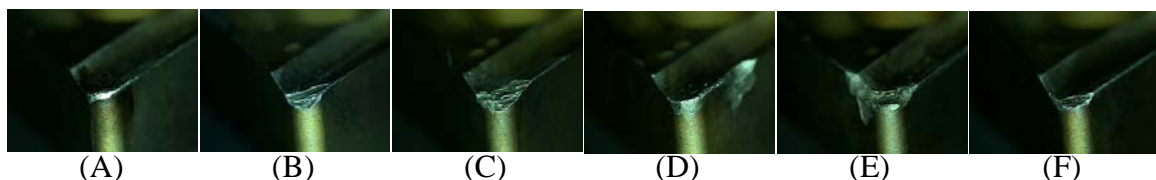


圖 12：異常磨耗之刀具

將圖11 及圖 12 之影像，利用本研究所提出之方法，經過濾波、灰階及反相後，即可得到處理後之影像，如圖 13 及圖 14。本研究所使用之影像大小為 640x480 (pixels)，平均速度為 0.5075 秒。

此外在影像處理階段，本研究原想利用邊緣偵測找出磨耗範圍之邊界後，再對其結果作框選，但其結果並不理想，執行後其處理結果會模糊磨耗部分之影像，且影像上之黑點就並非原始影像上之資訊，

且若使用黑色像素作為特徵點，則需另外使用影像處理上形態學之擴張方法，如此一來則更容易造成後續磨耗量判斷錯誤，故本研究於後續的步驟皆以圖 13 及圖 14 之影像加以辨識。

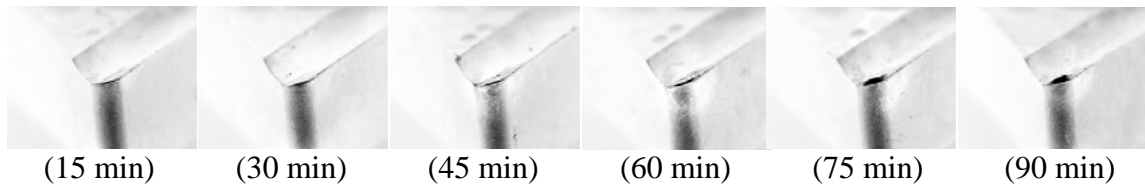


圖 13：經影像處理之正常磨耗刀具

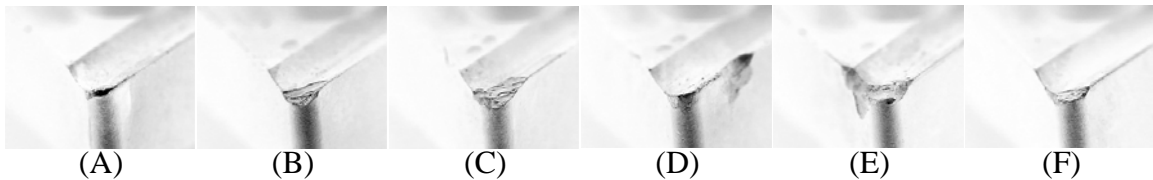


圖 14：經影像處理之異常磨耗刀具

### 三、刀具磨耗判定結果

本研究之方法一將利用影像中黑色的像素點做為磨耗大小判斷的依據，故黑色的像素點為型態上的特徵值。若該刀具為正常磨耗，其刀具上應都會有影像處理後為黑色之磨耗區域，依研究方法所提及之方法框選出黑色範圍後，再計算框選範圍內之黑色像素量。圖 15 利用本研究開發之程式所框選出之磨耗範圍，像素量分別為 112、120、130、244、726、796，其結果如圖 16 可驗證與圖 2 相同，代表本研究所提出之方法可行。

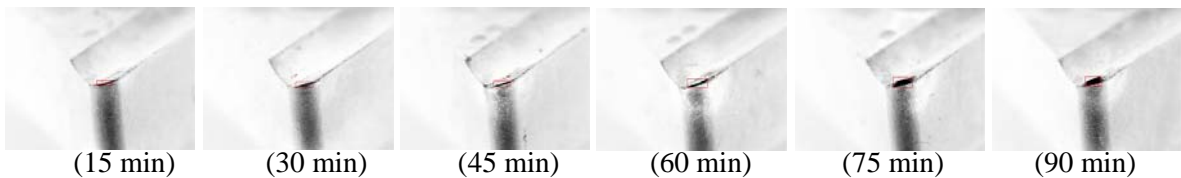


圖 15：正常磨耗之框選結果

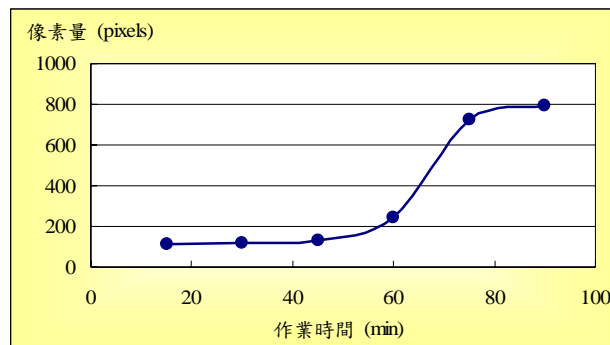


圖 16：正常磨耗之磨耗量

圖 17 為利用本研究所提出之方法二框選出之結果，其磨耗面積分別為 2871、8890、13299、3007、8662、6273(pixel<sup>2</sup>)，方法二判斷是否報廢之依據為，利用方法二對正常磨耗作業時間 90 分鐘後之刀具作框選，其結果得到之磨耗面積為 1352 (pixel<sup>2</sup>)，而圖 17 中異常磨耗刀具之磨耗面積皆大於 1352(pixel<sup>2</sup>)，故很明顯該刀具皆已報廢。此外，由圖 17(D)(E)之框選結果可看出，其磨耗範圍並不僅限於刀尖，由

於異常磨耗往往是因為刀具在作業時溫度急速升高後，造成刀具瞬間崩裂，此崩裂情況有時候是連帶效應，故其缺損不一定會僅出現於刀尖位置，但受限於取像設備之景深不足，擷取到之影像並無法涵蓋整個刀具，影像中只有刀尖位置在焦距範圍內，故此部份亦為本研究之限制之一。

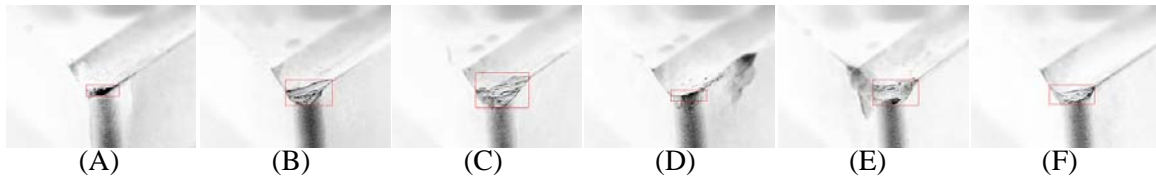


圖 17：異常磨耗之框選結果

本研究最後利用 10 張報廢刀具之影像，以驗證本研究所提出之方法，其經過影像處理及本研究所提出之方法之結果如圖 18，其中雖然仍有些離刀尖位置較遠之磨耗範圍無法完全框選，但若以本研究所提出之閾值皆以超過報廢標準，也驗證本研究之方法可行。

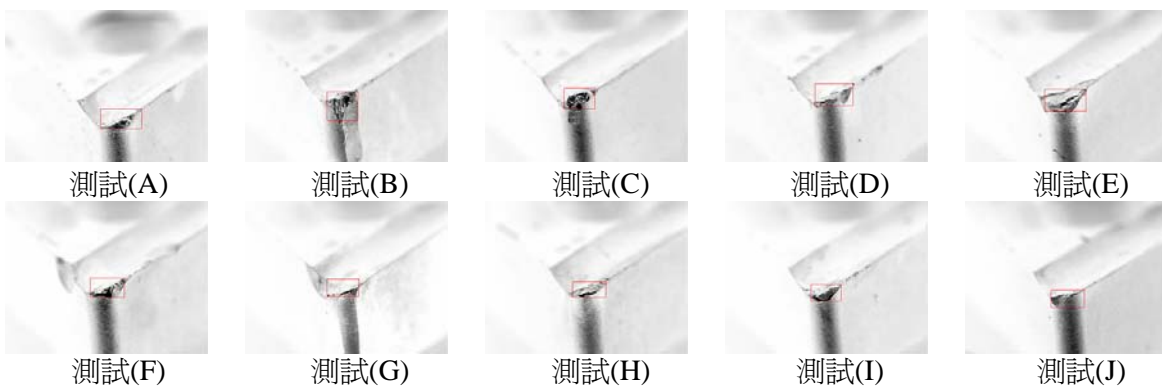


圖 18：測試樣本異常磨耗之框選結果

## 肆、結論與建議

由於以視覺檢驗之條件設定而言，取像環境、光源皆固定，且外在的不可控制因素亦較少，故截取出來的影像中刀具磨耗於影像中的位置亦都會相同，因此在影像處理時，可針對特定範圍內做分析，或是縮小影像尺寸，將會有效縮短整個流程的總處理時間。本研究所提出之方法處理影像的總時間為 1.5425 秒，雖然於測試階段其處理速度尚稱及格，但若要實際應用到刀具的即時監控則必須在此方面再多加強。

一般正常磨耗之刀具其磨耗量皆不明顯，已報廢刀具及堪用刀具之間的界定值並不精確，且若要使用精密的量測儀器又會增加不少花費，因此本研究利用視覺設備，對一組已使用過固定時間之刀具做檢驗，配合本研究所開發之程式能有效的找到刀具上磨耗的位置，並依框選範圍結果計算出像素量，其像素量之改變曲線與文獻探討中所提到的變化量相似，證明本研究所提出之方法可行。且本研究也於影像處理階段提出，利用視覺檢驗應用於車刀刀具並不適合用邊緣偵測做影像處理，由於邊緣偵測較適用於檢測物體之明顯外觀輪廓，但對於車刀上的磨耗輪廓則會使其變得模糊且難以辨識。故相信本研究對於目前傳統產業，應用視覺檢驗刀具的發展速度將會向上提升。

為使本研究所建構之系統能夠更加完整，在此提出幾點建議以給與後續相關研究發展者，有更多層面思考的新方向，其建議條列如下：

1. 鏡頭的選擇：景深過淺，將造成於影像處理時對於刀尖以外的部份就無法辨識，故若在鏡頭之選擇上多加以比較，對於刀具整體之檢驗將會有莫大的益助。
2. 配合實際距離之轉換，應用於切削尺寸補償量：本研究無法完全精準量測拍攝時之對焦距離、成像

距離…等條件，若能得到像素之實際尺寸，即可將計算結果應用於實際的操作調整，其結果必會對產業有更卓越的進步。

3. 配合移動設備取像：在擷取影像時可配合移動設備取像(如 XY Table)，利用精確的移動對刀具做拍攝，即可發展出一校正系統，並可精確的計算出於操作調整時適當的補償量。
4. 機器之震動及環境光源：由於視覺影像於拍攝時相當容易受到機器之震動而使影像模糊，而本研究所擷取之影像是於實驗室內完成，拍攝時的環境固定，但若要實際應用於車床機器上，必須盡量克服因晃動造成之影響及光源是否一致，避免外在因素造成影像處理之困難。
5. 磨耗閾值之訂定：本研究於對異常磨耗刀具框選之閾值訂定，利用無磨耗之刀具做為判斷依據，但此方法訂定出之閾值，框選出的範圍較不精確，此部份可配合模糊方法，進一步發展出更完整之框選方法。
6. 建立更完整之測試資料：本研究之取像樣本正常磨耗及異常磨耗樣本僅各六筆資料，利用此十二筆資料計算出來之結果只能算是初步的訓練資料，後續發展則可再多增加不同的影像樣本作為測試資料，以佐證本研究提出之研究結果。
7. 配合不同取像設備加以比較：受限於本研究之取像設備只有 CCD 感光元件，故本研究較無法配合其他設備取像之結果做比較，若往後可以有更多取像設備，如紅外線取像設備、電子顯微鏡…等設備，即可與本研究提出之結果加以比較優劣。
8. 取像角度之測試：由於本研究是利用像素大小及磨耗面積作為判定報廢之依據，而取像角度更是直接影響磨耗面積大小之因素，故在取像角度測試方面，未來可利用如實驗設計等方法，多加測試以求得最佳的取像角度。

## 參考文獻

- [1] 何友森、陳明飛(2004)：影像擷取技術在精密加工機制定位之應用，*機械工業月刊*，30(3)，92-106。
- [2] 洪良德(2003)，*切削刀具學*(二版)，台北：全華科技圖書股份有限公司。
- [3] 唐永新、莊士青(1999)：機器視覺感測技術應用於刀具狀況監控之發展，*機械工業月刊*，25(3)，503-507。
- [4] Jurkovic, J., Korosec, M., Kopac, J. (2005). New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, 1023-1030.
- [5] Kurada, S. and Bradley, C. (1997). A machine vision system for tool wear assessment. *Tribology International*, 30(4), 295-304.
- [6] Pfeifer, T. and Wieggers, L.(2000). Reliable tool wear monitoring by optimized image and illumination control in machine vision. *Measurement*, 209-218
- [7] Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P.S. and Klocke, F. (2003). Development of a tool wear-monitoring system for hard turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 976-985
- [8] Silva, R. G., Baker, K. J. and Wilcox, S. J.(2000). The adaptability of a tool wear monitoring system under changing cutting conditions, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 14(2), 287-298