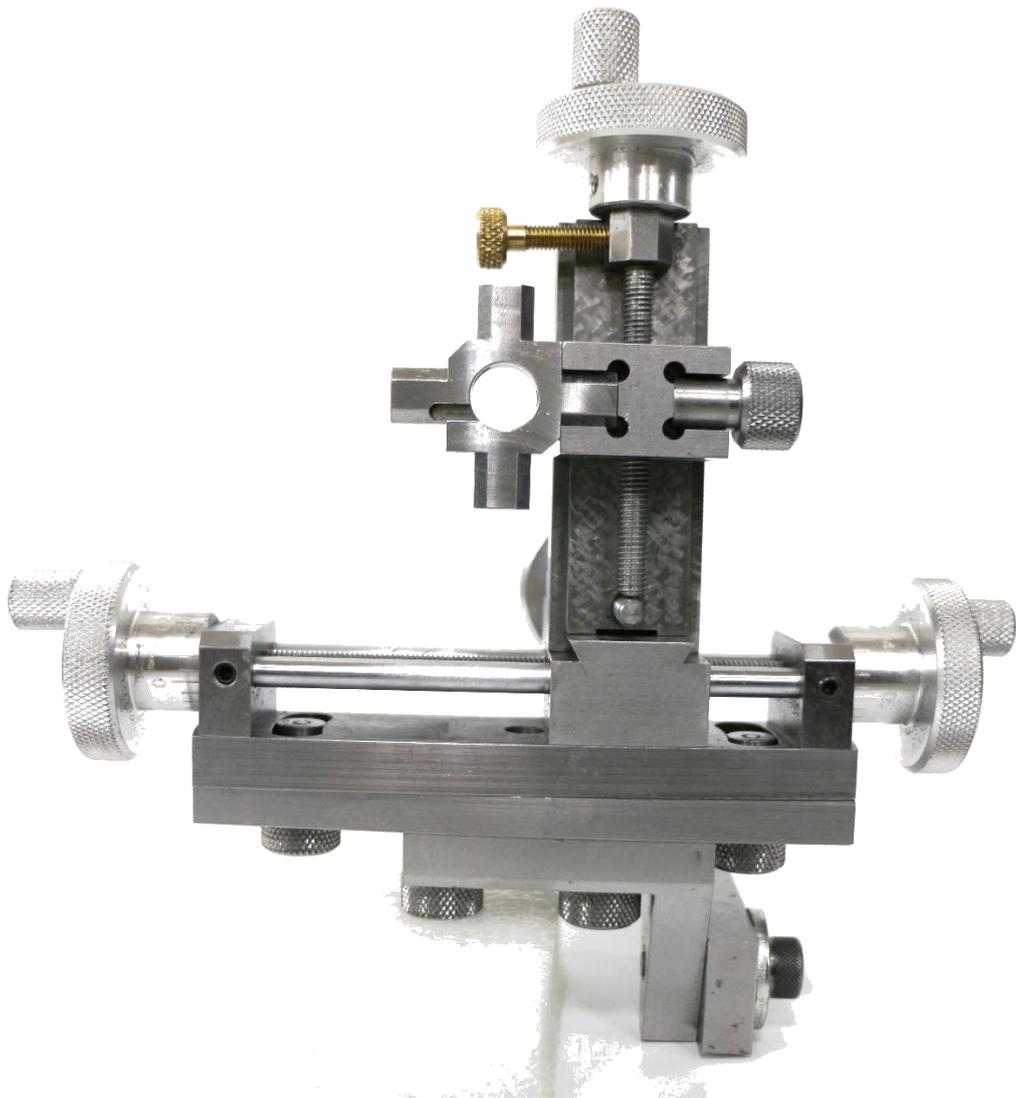


全國高級中等學校專業群科 106 年專題及創意製作  
競賽「專題組」作品說明書

群別：機械群

作品名稱：多功能端銑刀角研磨機構

關鍵詞：端銑刀、銑刀研磨機、銑床加工



# 目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、研究方法.....	2
一、研究流程.....	2
二、文獻探討.....	3
三、設備及材料.....	6
四、機構設計與加工.....	7
肆、研究結果.....	12
一、多功能端銑刀研磨機構測試.....	12
二、不同間隙角度之端銑刀銑削測試.....	15
伍、討論.....	17
一、滑軌與螺桿的傳動情形.....	17
二、砂輪表面修整之影響.....	18
三、間隙角研磨高度與角度變化.....	18
四、不同間隙角度對切削情形之影響.....	18
陸、結論.....	18
一、整體式端銑刀並非全部刀角皆需研磨.....	18
二、滑軌位移量愈長誤差值越大.....	19
三、滑軌與螺桿部位應增加防塵護蓋(套).....	19
四、修整與削銳砂輪會影響端銑刀研磨表面與角度.....	19
五、Z軸高度位移量越大研磨角度變化量越大.....	19
六、間隙角以 $6^{\circ}$ 為最佳研磨角度.....	19
柒、參考資料.....	20

# 全國高級中等學校專業群科 106 年專題及創意製作

## 競賽「專題組」作品說明書

### 【多功能端銑刀角研磨機構】

#### 壹、摘要

在高二的機械加工實習課中，同學因加工方式不當常導致端銑刀的刀刃崩裂受損。因此，我們設計一個多功能端銑刀角研磨機構以能配合學校實習工廠常見的砂輪機使用，將原本欲丟棄之端銑刀具再製重生。本專題之「多功能」係指能研磨端銑刀之間隙角、次間隙角、端刃凹角，刀槽斜角等四部位之刀角。

專題研究目的為探討端銑刀角所需研磨之刀角、設計多功能端銑刀刀角研磨機構及檢測刀角研磨機構最佳表面之刀角。並針對研磨機構之滑軌與螺桿的傳動情形、砂輪表面修整之影響、間隙角研磨高度與角度變化、不同間隙角度對切削情形之影響四個部分進行討論。

經實驗測試後發現端銑刀並非全部刀角皆需研磨、滑軌位移量愈長誤差值越大、滑軌與螺桿部位應增加防塵護蓋(套)、修整與削銳砂輪會影響端銑刀研磨表面與角度、Z 軸高度位移量越大研磨角度變化量越大、間隙角以  $6^\circ$  為最佳研磨角度。

#### 貳、研究動機

銑床在機械加工中扮演著很重要的角色，銑床刀具中又以端銑刀的加工範圍最為廣泛，使它成為切削刀具中不可或缺的一員，操作者本身不良的加工習慣常造成刀具不必要的損壞，卻因為以手持的方式進行研磨，不易磨出端銑刀所需的刀角，加上市售的刀具研磨機價格普遍偏高而放棄研磨，造成刀具的浪費。

記得在高二的機械加工實習課，上銑床單元時。使用端銑刀進行加工，因同學加工方式不當常導致端銑刀的刀刃崩裂受損。因此，我們想設計一個多功能端銑刀角研磨機構能配合學校實習工廠常見的砂輪機使用。則可不需要使用價錢昂貴的刀具研磨機，即可磨出端銑刀切削時所需之刀角。

本專題多功能銑刀角研磨機構零件加工部分以學校現有的加工具機為主，並嘗試出端銑刀在加工時的最佳刀角，希望本機構可廣泛應用於各式砂輪機輔助銑刀研磨，其研究目的如下：

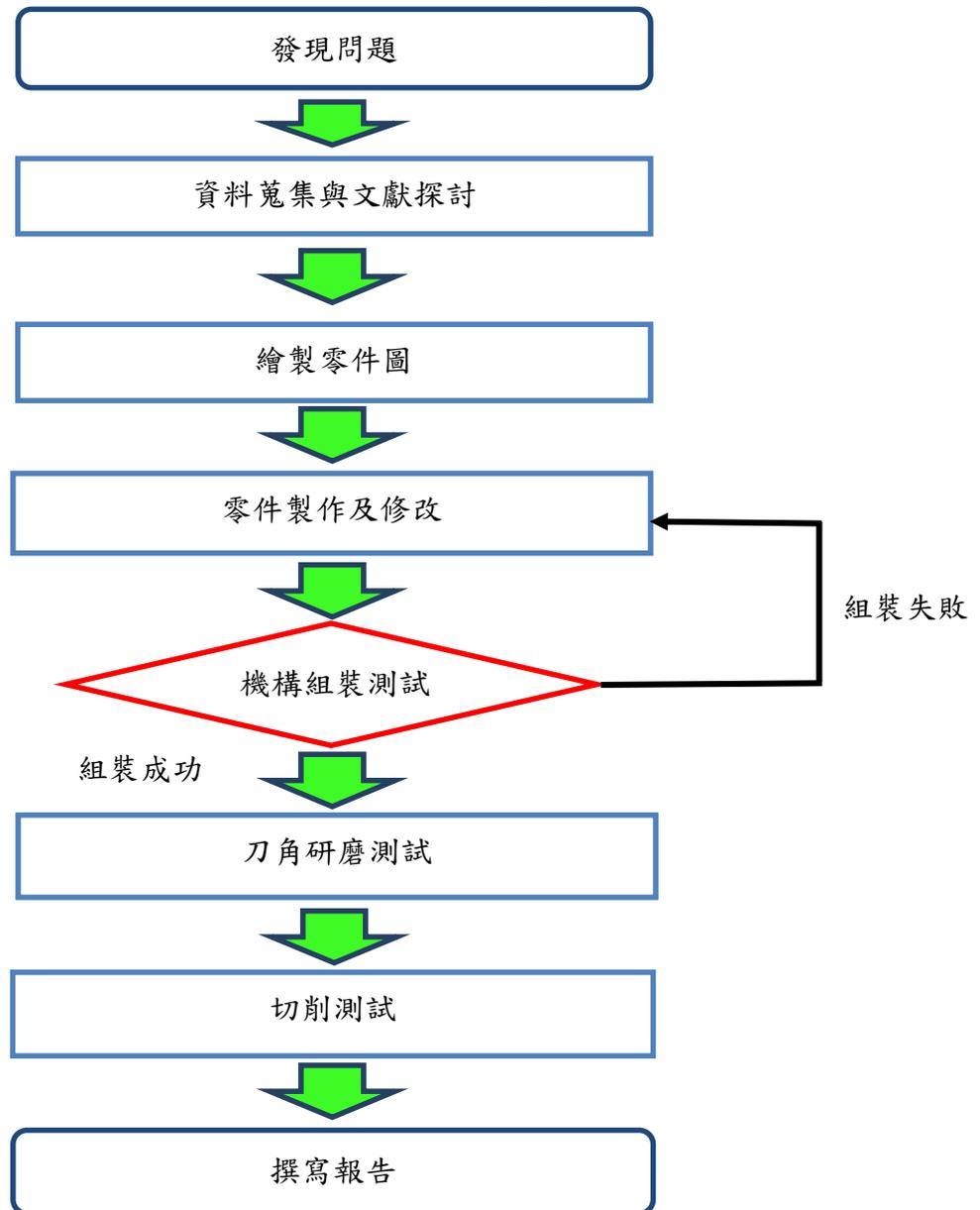
- 一、探討端銑刀角所需研磨之刀角。
- 二、設計多功能端銑刀刀角研磨機構。
- 三、檢測多功能端銑刀刀角研磨機構最佳表面之間隙角度。

## 參、研究方法

本專題之研究方法分別為研究流程、端銑刀角之探討、設備及材料、機構設計與加工及表面織構量測方式五個部分進行說明，其詳細內容如下。

### 一、研究流程

我們透過書籍、網路查詢相關資料，並觀察刀具磨床的研磨方式，利用 Solid Works 2010 繪製出 3D 立體零件加以進行模擬組裝，如有干涉，馬上進行修改。確認無誤後再使用 Auto Cad 2012 畫出 2D 零件圖及標明公差，運用各式加工機做出機構零件，並進行零件組裝與實際測試。組裝失敗則回到零件製作及修改，俟測試成功後，便進行刀角研磨及切削測試並撰寫報告，其詳細之研究流程圖，如圖(1)

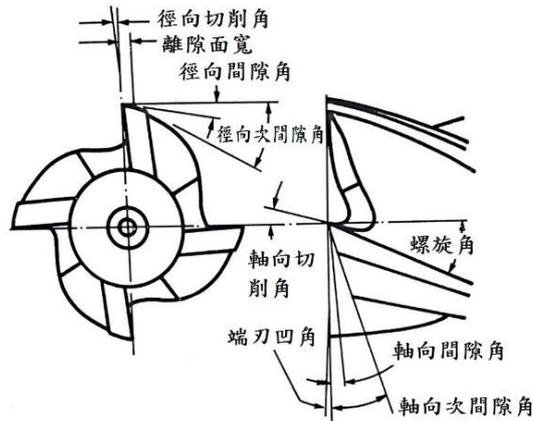


圖(1)研究流程

## 二、文獻探討

### (一) 端銑刀角之探討

端銑刀角主要刀角為切削角及間隙角，而刀角方向為軸向與徑向兩方向，其詳細端銑刀角各部位名稱，如圖(2)。本專題之端銑刀角分別依切削角、端刃凹角、間隙角、次間隙角、刀槽斜角、徑向鋒地、螺旋角七個部分進行說明。



圖(2) 端銑刀角各部位名稱

#### 1. 切削角

切削角主要為引導排屑控制切屑流向，依傾斜方向又分徑向與軸向切削角，角度可由正值變化到負值，正值切削角可使排削順暢，切削力小，但切削角度太大時會造成刀具強度不足，故容易磨損及崩裂（陳伯瑄，2011），一般切削碳鋼之切削角為  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$  之間（姜義浪，1996）。

#### 2. 間隙角

間隙角主要為避免刀腹與工件面產生摩擦而影響切削工作之目的（王千億、王俊傑，2014）。為防止刀背與工件磨擦，直徑較小比直徑較大之銑刀所需的間隙角要來的大，間隙角太小會有干涉、銑刀拖滯之問題；過大則使刀刃尖銳，容易切入工件，但刀口強度低，較易磨耗或崩裂（王千億、王俊傑，2014），通常軸向間隙角會與端刃凹角一同磨出。間隙角與切削角相同，依刀角傾斜方向也分為徑向與軸向間隙角，一般切削碳鋼之徑向間隙角為  $6^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ；軸向間隙角為  $3^{\circ}\sim 7^{\circ}$  之間（姜義浪，1996），如圖(3)。徑向間隙角在端銑刀上為自然成形，因此我們在機構設計上僅研磨軸向間隙角。在切削刀角測試上我們以軸向間隙角  $3^{\circ}\sim 7^{\circ}$  為依據，將軸向間隙角分別磨成  $3^{\circ}$ 、 $6^{\circ}$ 、 $12^{\circ}$  三種刀角做切削測試，並觀察其切削情形。

### 3. 次間隙角

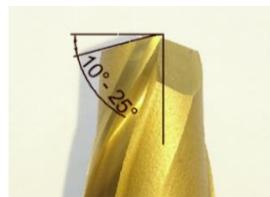
次間隙角一般稱為第二間隙角，因此與間隙角功用大同小異，具有排屑、防止刀具與工件有過多之接觸面。其刀角傾斜方向與前述刀角相同，分為徑向與軸向次間隙角。研磨時，通常先研磨間隙角再磨削次間隙角，一般切削碳鋼之徑向次間隙角  $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$  為；軸向間隙角為  $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$  之間（姜義浪，1996），如圖(4)。

### 4. 端刃凹角

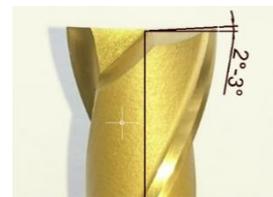
端刃凹角其目的是避免靜點對切削產生之影響（陳伯瑄，2011）以消除靜點改善切削時磨擦工件問題，而研磨端刃凹角為刀端間隙角之兩端刀刃往中心凹陷約  $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，一般銑刀直徑越小，其角度越大（姜義浪，1996），如圖(5)。



圖(3)軸向間隙角



圖(4)次間隙角



圖(5)端刃凹角

### 5. 刀槽斜角

刀槽斜角主要為引導切屑順利排出，避免與工件摩擦。因此，為了避免銑削時有不必要的接觸面，造成摩擦力過大使刀具受損。一般端銑刀角之刀槽斜角約為  $45^{\circ}$  左右，因此本專題在機構設計上以研磨  $45^{\circ}$  之斜角為主要設計角度，如圖(6)。

### 6. 徑向峰地

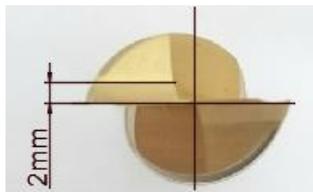
鋒地可分為弧形與直線形，本研究端銑刀採用直線形，參考刀角相關書籍得知寬度大約 2mm。此峰地在研磨間隙角時就自然成形，鋒地太寬時通常會再研磨次間隙角以減少鋒地與工件接觸之機會。刀刃角度為刀刃體有效之角度，此角度愈大則刀刃角度愈強，反之則易崩裂（陳勤仁、施忠良，2008），如圖(7)。

### 7. 螺旋角

銑刀之心軸線與刀刃口傾斜方向所成的角度稱為螺旋角。螺旋角愈大，因單位長度內有多刃同時切削，故銑削震動愈小，但銑削所產生的軸向推力愈大，所以工件夾持應牢固，以防被切削橫向力推移（陳勤仁、施忠良，2008），一般切削碳鋼之端銑刀的螺旋角為  $30^{\circ}$ （姜義浪，1996），如圖(8)。



圖(6)刀槽斜角



圖(7)徑向峰地



圖(8)螺旋角

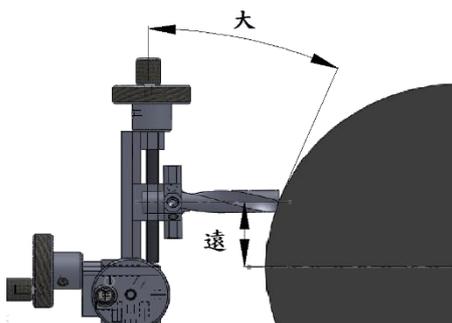
參考全新雙刃端銑刀發現，有些刀角已自然成型，並不需要特別磨削。譬如，徑向切削角、軸向切削角、徑向次間隙角、徑向間隙角、螺旋角、徑向峰地等，皆已成型。因此，本專題僅針對需要磨削之刀角為軸向間隙角、軸向次間隙角、端刃凹角、刀槽斜角等做研磨測試。

從上述端銑刀角探討中我們瞭解，軸向間隙角與次間隙角、端刃凹角及刀槽斜角等之適用角度後，我們以端刃凹角 $3^\circ$ 、刀槽斜角 $45^\circ$ 為端銑刀研磨測試的固定刀角，並針對不同間隙角之端銑刀進行切削測試，觀察其切削情形且加以探討。

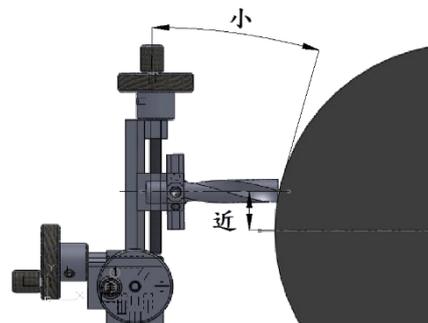
## (二) 端銑刀角研磨原理

本專題之端銑刀角研磨機構，主要為輔助砂輪機研磨端銑刀之所需刀角。有關於研磨端銑刀刀角之原理，蔡德藏(2008)提到磨削刀角時，若以平直砂輪研磨，則砂輪中心應與銑刀偏置，其偏置量 $=0.0087 \times \text{砂輪直徑} \times \text{間隙角} \times \text{螺旋角}$ 的餘弦。由此我們了解端銑刀角之研磨，除了直接偏轉角度以獲得所需之刀角外，還可藉由砂輪中心與端銑刀中心的偏置量來控制研磨刀角之角度。從上述式子當中，我們也可知道砂輪中心與銑刀中心偏置量和研磨間隙角度之關係成正比。

依據上述原理，可得知調整刀具與砂輪之中心距離，會影響刀具與砂輪的研磨面角度。在研磨軸向間隙角時，當端銑刀與砂輪的中心距離愈遠時，刀具研磨面與刀具軸向角度就會愈大，如圖(9)所示；反之，若中心距離愈近時，則刀具與砂輪之研磨面與刀具軸向的角度就愈小，如圖(10)所示。因此，我們也藉由此概念來探討端銑刀與砂輪之中心距離對其軸向間隙角度之變化情形。



圖(9)中心距離愈遠，角度愈大



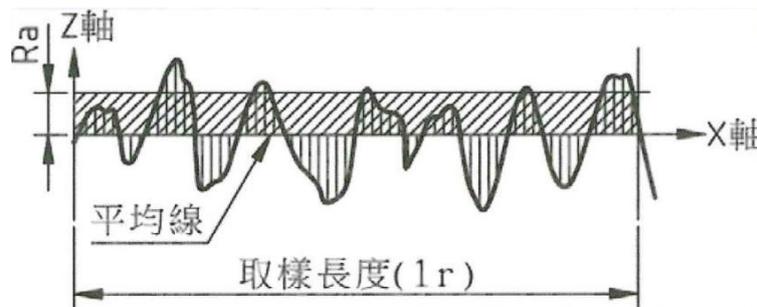
圖(10)中心距離愈近，角度愈小

## (三) 表面織構量測方式

零件在經過各種不同的加工方法中，由於鑄砂模面、模具壁面、機械震動、刀具尖端等因素，致使機件表面產生凹凸紋路或粗糙痕跡，由肉眼無法看出，但透過電子儀器檢測，即可看出其表面微觀幾何特性，像是有粗糙度、波紋度、紋理方向、表面缺陷等。輪廓參數分為三種，R(粗糙度)、W(波紋)、P(結構)，機械加工層面最常使用R輪廓，

因為是由加工方法的刀具痕跡以及切削撕裂材料塑性變形所形成。(吳清炎、李建億，2014)。

為了得知我們研磨之端銑刀是否能達到粗度標準，以及測試最佳間隙角度，如圖(11)。我們採用攜帶式表面織構波濾器 (SJ-210 系列) 測量算數平均粗糙度 (Ra)，吳清炎、李建億 (2014) 指出在輪廓參數的 R 輪廓其評估長度預設是 5 倍的取樣長度，因此本專題採用取樣長度為 0.8mm，評估長度為 5 倍的取樣長度做為表面粗度測量之基準。



圖(11)算數平均粗糙度

資料來源：張木生、李孟宏、吳清炎、李建億 (2015)。產品幾何技術規範 (GPS) 標註與應用。台北市：華興文化。

### 三、設備及材料

俗語說，工欲善其事，必先利其器，因此找到適當的設備與材料是必要的，本研究設備及材料分別依加工設備及儀器、零件材料、切削刀具、專業軟體等四部分說明，詳細內容如表(1)，其分述如下。

(一) 設備及儀器：加工中心機、磨床、車床、銑床、鑽床、砂輪機、油壓帶鋸機、CNC 車銑複合機、萬能刀具磨床、端銑刀鑽頭切斷機、表面織構波濾器。

(二) 零件材料：鐵塊(S20C)、鐵桿、螺桿、大量螺絲。

(三) 切削刀具：鋸條、螺絲攻、車刀、砂輪、鑽頭、銑刀、銼刀、刮花刀、絞刀、螺絲模等。

(四) 專業軟體：Auto Cad、Microcoft Word、Solid Works、Mastercam、Microcoft Excel、SJ-Communication-Tool。

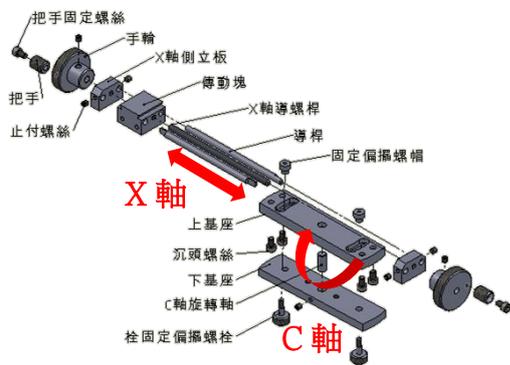
表(1)設備及材料表

項目	名稱	單位	數量	備註
設備與儀器	加工中心機	台	1	瑞峰精機 BMV-900
	磨床	台	1	準力平面磨床 JL-618
	車床	台	2	威赫車床 430x560mm
	銑床	台	1	松順銑床 S-2m
	鑽床	台	1	金剛 KSD-420
	砂輪機	台	2	BALDOR 8107W
	油壓帶鋸機	台	1	威全 UE-71ZA
	CNC 車銑複合機	台	1	瑞峰精機 MT-280PL
	萬能刀具磨床	台	1	北平精密 PP-60N
	端銑刀鑽頭切斷機	台	1	慶鋁工程有限公司
	表面織構波濾器	台	1	三豐 SJ-210
零件材料	鐵塊(S20C)	塊	若干	依照需求選用不同尺寸
	鐵桿	條	1	表面硬化磨光圓鐵
	螺桿	條	1	M6x1 長 1m
	螺絲	個	適量	M5
切削刀具	鋸條	條	1	14T 鋸條
	螺絲攻	支	4	M4、M5
	車刀	把	若干	外徑、切槽、倒角、壓花
	砂輪	片	2	氧化鋁、碳化矽
	鑽頭	支	若干	依照需求選用不同尺寸
	銑刀	把	若干	依照需求選用不同尺寸
	銼刀	把	若干	
	刮花刀	支	1	
	絞刀	支	若干	
專業軟體	螺絲模	個	1	M4、M5、M6
	Solid Works 2010	套	1	3D 立體圖
	Mastercam	套	1	CNC 模擬驗證
	Auto Cad 2012	套	1	2D 工作圖
	Microcoft Word 2013	套	1	書面報告
	Microcoft Excel 2013	套	1	表面織構粗糙度波紋圖
SJ-Communication-Tool	套	1	表面織構粗糙度分析	

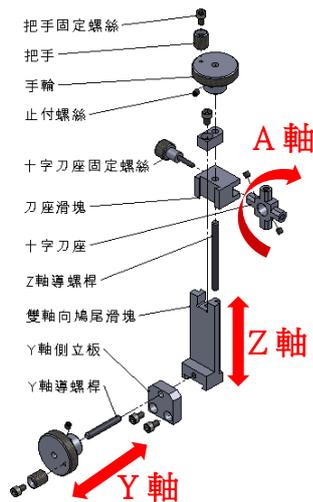
#### 四、機構設計與加工

##### (一) 機構設計

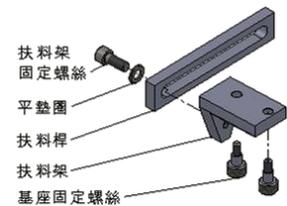
依據文獻探討結果進行機構設計，本機構主要分為四大部分，分別為旋轉基座、滑軌系統、刀具夾頭組及改良式扶料架。在旋轉基座部分主要為研磨端刃凹角，作為C軸旋轉之用途。在滑軌系統當中其X軸作左右位移的螺桿以傳動旋轉基座，如圖(12)；Y軸作進退刀具的研磨進給；Z軸作升降高度的調整。刀具夾頭組的十字刀座為研磨刀槽斜角之用，作為A軸之旋轉，如圖(13)。為了方便裝置於砂輪機上，我們重新設計符合機構的改良式扶料架可將下基座鎖緊，如圖(14)。



圖(12) X軸傳動及旋轉基座



圖(13) Y、Z雙軸傳動  
及刀具夾頭組



圖(14) 改良式扶料架

## (二) 零件加工

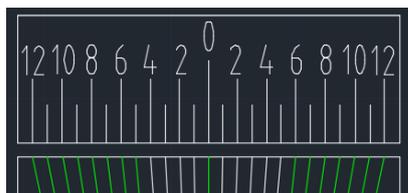
本專題多功能端銑刀角研磨機構，零件加工部分以學校現有工具機為主，並運用多種加工機具進行零件加工，將實習課程中所學習的加工技術應用於多功能端銑刀角研磨機構。以下依機構設計之旋轉基座、滑軌系統、刀具夾頭組及改良式扶料架四個部分進行說明，其詳細說明如下。

### 1. 旋轉基座

本專題旋轉基座為調整刀具角度的重要零組件，分為上基座、下基座及旋轉中心軸，其說明如下。

#### (1) 上基座

上基座為兩側半徑 (R) 65mm 之弧面，於弧面兩側製作最大偏轉角度為  $12^\circ$  之刻度，以做為端刃凹角角度偏擺之使用。其刻度之製作採 Auto Cad 2012 繪圖軟體以投影的方式繪製出正確的刻度位置，如圖(15)。再以 Mastercam X5 軟體製作零件外型加工、刻度及數字的雕刻程式，再以加工中心機進行零件加工，如圖(16)。在上基座上方製作兩個圓弧狹槽配合兩螺紋連接件（螺絲與螺帽）做上、下兩底板鎖固的動作，以達固定之目的。



圖(15) 刻度繪製



圖(16) 刻度製作

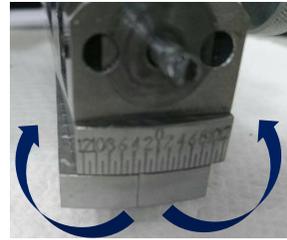
#### (2) 下基座

下基座用途為配合上基座以讀出角度正確的偏擺量，使其偏轉順暢，在兩基作接觸的表面我們加入鏟花的技術。由於工具機組裝

過程中，有許多需要貼合的金屬平面，但機械加工出來的平面都有瑕疵（辜樹仁、林昭儀，2013）。因此，我們藉鏟花加工，矯正機械加工留下的誤差，讓這些金屬平面，獲得良好「真平面」以達到兩金屬面貼合後依然能轉動順暢之目的，如圖(17)。



圖(17)鏟花加工



圖(18)基座組合偏擺圖

### (3)旋轉中心軸

旋轉中心軸主要為串連上、下基座使兩機件達到旋轉運動之目的。將其旋轉中心軸之一端圓周側邊磨一平面以固定螺絲鎖固於下基座，並與上基座之鉸孔中心位置配合，使上基座得以達到左右偏擺角度之功能，如圖(18)。

## 2. 滑軌系統

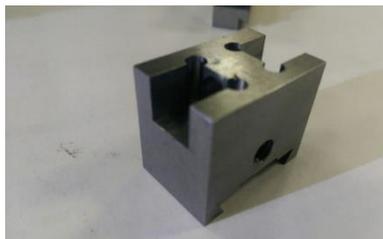
滑軌系統為本機構刀具夾頭的傳動機構，以磨光銷做為支撐與引導，並利用導螺桿配合手輪來帶動滑塊之傳動。搭配鳩尾槽設計，使滑塊與滑座於傳動中不致脫離。因此，本滑軌系統係由刀座滑塊、雙軸向鳩尾滑塊、傳動塊、導桿、導螺桿、手輪及側立板七個部位所組成，其分述如下。

### (1)刀座滑塊

刀座滑塊為十字刀座鎖固與研磨刀端逃讓角角度定位之功能，兩側方槽設計為研磨端刀凹角及軸向間隙角之使用，底部鳩尾槽及側邊內螺紋之設計，如圖(19)。搭配導螺桿使其滑塊得以沿 Z 軸作直線運動。

### (2)雙軸向鳩尾滑塊

為配合刀座滑塊及傳動塊使端銑刀研磨刀座作 Y 軸與 Z 軸之直線運動，滑塊長邊之一側與底部分別設計一公一母之鳩尾槽，其上方之凹槽與側立板配合以做為導螺桿之定位，如圖(20)。



圖(19)刀座滑塊



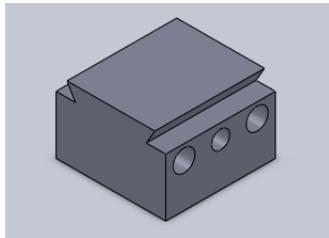
圖(20)雙軸向鳩尾滑塊

### (3)傳動塊

此一零件配合螺桿沿著導軌做 X 軸線方向的直線運動，並搭配鳩尾槽之配合使得刀座滑塊做 Y 軸之直線運動，在傳動塊之側面銜削  $\phi 6\text{mm}$  之內孔與導桿配合，中間並實施  $\text{M6}\times 1\text{mm}$  內螺紋加工配合導桿產生軸向為移，如圖(21)。

### (4)導桿

導桿為固定位置支持或限制活動機件運動範圍的機件(葉倫祝，2014)，為了使傳動塊達到可預期的直線運動，我們使用  $\phi 6\text{mm}$  高週波鍍鉻心軸做為導桿。選用鍍鉻心軸導桿，主要目的為增加金屬表面硬度及耐磨性(王千億、王俊傑，2013)，以降低傳動塊在導桿上滑動造成磨損，其導桿裝配情形，如圖(22)。



圖(21)傳動塊



圖(22)導桿裝配圖

### (5)導螺桿

螺旋是斜面原理的運用，用以傳遞運動或力量(葉倫祝，2014)。因此，我們採用  $\text{M6}\times 1\text{mm}$  的導螺桿配合手輪，使傳動塊與刀座滑塊得以獲得精確之位移，且有良好之操控性。

### (6)手輪

手輪為搭配螺桿與滑塊之傳動，為能獲得滑塊精確之位移。因此將手輪之周緣畫計刻度，其刻度之加工採用車銑複合機完成，如圖(23)。刻度之精度為配合導螺桿  $1\text{mm}$  之導程，將手輪圓周等分成 25 等分，因此手輪移動一格滑塊移動  $0.04\text{mm}$ ，而手把之設計為方便手輪長距離之位移使用。

### (7)側立板

側立板主要為支持導螺桿與固定導桿之機件，其設計裝配位置分兩部位，其一部位鎖固於上基座之兩端側立板，為支持 X 軸導螺桿與固定導桿之功能，另一部位裝配於雙軸向鳩尾滑塊之側立板主要為支持 Y 軸方向導螺桿固定之用途，如圖(24)。



圖(23)車銑複合機手輪製作



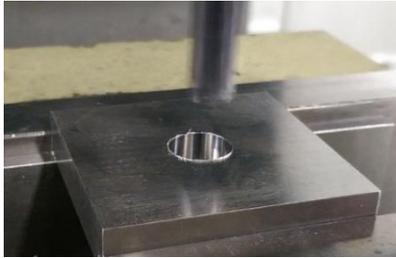
圖(24)側立板

### (三) 刀具夾頭組

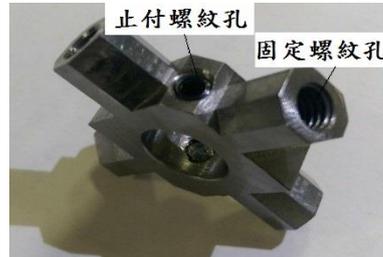
刀具夾頭組主要為夾持端銑刀具，並將刀端刀校刀中心定位，鎖固於十字刀座滑塊上，使端銑刀能快速正確定位與固定於多功能端銑刀研磨機構上。其刀具夾頭組包含了十字刀座、校刀定位桿、刀座鎖緊螺絲，並搭配鑽石砂輪修整器以獲得良好的研磨面，其詳細說明如下。

#### 1. 十字刀座

主要用來夾持端銑刀，並和刀座鎖緊螺絲配合。此零件中心為 $\phi 12H7$  刀具夾持孔，如圖(25)，兩側皆有攻製螺紋孔使止付螺絲能夠固定端銑刀。工件四側十字端面皆有攻製螺紋孔，與刀座鎖緊螺絲配合固定，如圖(26)。而十字外形角柱每一倒角部分皆為 $4 \times 45^\circ$ ，用於研磨刀槽斜角之功用。為了使校刀定位桿能夠插入並垂直於工件，將十字刀座夾持孔側邊銑削校刀定為槽，以校正端銑刀刀中心位置，如圖(27)。



圖(25)銑削 $\phi 12H7$  圓孔



圖(26) 固定螺紋孔

#### 2. 校刀定位桿

主要功能為校正端銑刀中心，確保刀刃研磨位置正確。校刀定位桿為方桿及凹槽塊料做配合，將塊料移至端銑刀刀前方，使端銑刀切削面靠齊塊料即可完成校正中心，如圖(28)。



圖(27) 校刀定位槽



圖(28)校正刀具中心

#### 3. 刀座鎖緊螺絲

用於鎖緊十字刀座以及砂輪修整器，防止研磨或修整時刀座鬆動，導致與砂輪發生碰撞。我們使用傳統車床製成，頭部位置設計壓花以增加磨擦力，使操作時易於握持，螺紋部分採用 M5 螺絲模攻製而成，如圖(29)。

#### 4. 鑽石砂輪修整器

砂輪使用久後，輪面磨粒會失去銳利度而成平滑的面，或被軟質金屬填塞而失去原有的磨削能力（張弘智、陳順同，2014）。因此，我們讓鑽石砂輪修整器也能裝置在刀座滑塊上，研磨端銑刀前，利用修整器將鈍化輪面去除，並且使砂輪和機構平行，才能正確研磨出所需刀角，以達削正與削銳之目的，如圖(30)。



圖(29)刀座鎖緊螺絲



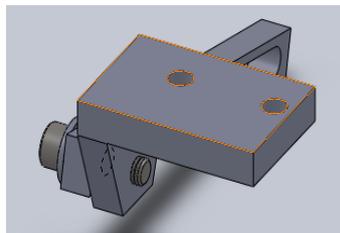
圖(30)鑽石砂輪修整器

#### (四) 改良式扶料架

改良式扶料架為多功能端銑刀角研磨機構與砂輪機之間做連接之用途，調整機構與砂輪機的相對位置。一般砂輪機所附的扶料架皆為鑄造成型，鑄造其缺點為鑄件表面凹陷及內部有氣孔等（姜禮德，2014），如圖(31)。使得端銑刀角研磨機構鎖固後其機構本體有傾斜的狀況，造成角度偏擺不準確。因此，我們使用繪圖軟體 Solid Works 2010 繪製改良式扶料架之立體圖，如圖(32)。再以傳統銑床加工其零件，並於扶料架之上方鉸削兩個  $\phi 8H7$  的孔，搭配鎖緊螺絲與基座鎖固，使基座與扶料架的基準邊形成平行的狀態，以獲得精確角度之研磨，如圖(33)。



圖(31)扶料架實圖



圖(32)扶料架組合圖



圖(33)扶料架加工完成圖

## 肆、研究結果

### 一、多功能端銑刀研磨機構測試

在多功能端銑刀研磨機構測試部分我們針對，滑軌位移操控性、砂輪修整器表面削銳及削正情形、端刀刀角定位研磨、研磨高度對軸向角度之影響、刀槽斜角研磨等五個部分進行測試，其測試結果如下。

### (一) 滑軌位移操控性

為了確認機構滑軌位移量與刻度值是否相符，先測試刻度一格(0.04mm)位移量是否正確，再將位移量分為4mm、8mm、12mm做測試，以打表測量的方式使位移量數據化再加以比對X、Y、Z軸誤差值為多少，如圖(34)，再將其數據加以彙整，從表格數據顯示，我們分為三大部分作為探討，測試刻度位移量的部份可看到Y軸實際位移量與設定為移量小0.01mm。



圖(34)打表測量

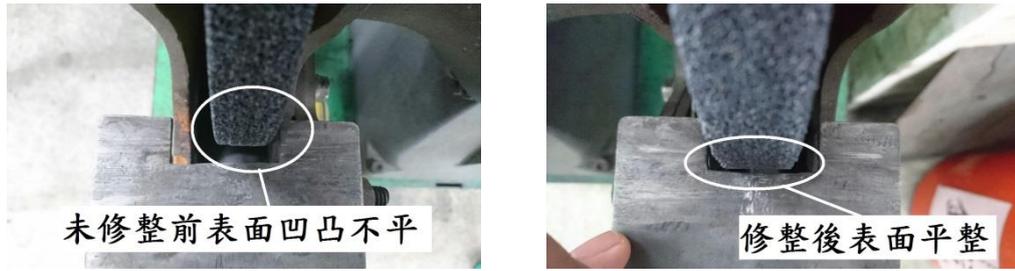
在位移量部分，我們發現其三軸方向在位移量4mm時誤差值為正負0.01mm；在位移量8mm時，X軸誤差值為0.02mm，而Y、Z軸誤差值皆為0.01mm；位移量12mm時，在X、Y軸最大誤差值為0.02mm，Z軸誤差值為0.01mm。而在軸向部分，X、Y軸在不同的位移量中，其誤差值介於0.01mm至0.02mm；Z軸其誤差值介於正負0.01mm，由此可見位移量越大其誤差值越大，在軸向部分以Z軸誤差值最小。其滑軌位移操控性測試數據，如表(2)。

表(2)滑軌位移操控測試

位移量 軸向	0.04mm/格	4mm	8mm	12mm
X 軸	0.04 mm	4.01 mm	8.02 mm	12.02 mm
Y 軸	0.03 mm	4.00 mm	8.01 mm	12.02 mm
Z 軸	0.04 mm	3.99 mm	8.01 mm	11.99 mm

### (二) 砂輪修整器表面削銳及削正情形

在本測試中端銑刀材質為高速鋼，因此我們使用氧化鋁砂輪研磨。在磨削之前為了使砂輪表面與機構本體之研磨面呈現平行的狀態，以獲得正確研磨刀角。我們使用鑽石砂輪修整器做削正及削銳的動作將變形的砂輪修整至正確的尺寸和形狀，將鈍化的輪面去除，露出新的、銳利的磨粒，恢復其使用效能(張弘智、陳順同，2014)，如圖(35)。未修整前表面凹凸不平，修整後砂輪表面平整，使機構X軸與砂輪表面平行，才能研磨出理想角度及表面。



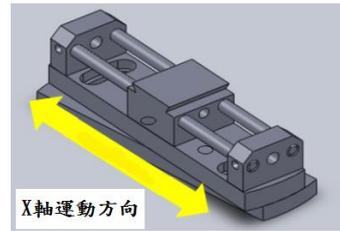
圖(35)砂輪修整比較圖

### (三) 端刃凹角定位研磨

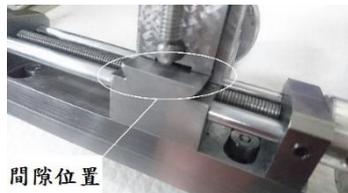
為了使端銑刀的刀端刃角為 $3^\circ$ ，我們先將機構基座角度偏擺調到 $0^\circ$ 的位置以鑽石砂輪修整器做削正及削銳的動作，完成後再將基座偏至 $3^\circ$ 的位置進行研磨，如圖(36)。一開始的設定為X軸做左右磨削，目的為使砂輪消耗較為平均，如圖(37)。但因為機構製作上為了使滑動順暢造成機構稍微有間隙，加上砂輪機轉動時所造成的震動，如圖(38)。導致左右磨削時磨削的力道不平均使得端刃刀角不易形成，因此我們在使用方法上做調整，變為X軸向移至刀具中心位置以Y軸方向進給研磨端刃刀角，如圖(39)。



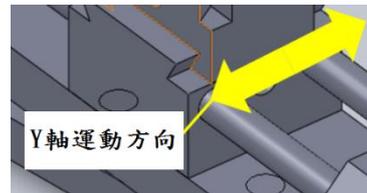
圖(36)基座偏擺情形



圖(37)X軸向進給示意圖



圖(38)間隙位置示意圖



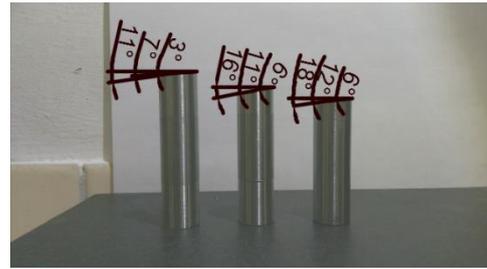
圖(39)Y軸向進給示意圖

### (四) 研磨高度對軸向角度之影響

為瞭解研磨高度對軸向角度之影響，本專題以 $\phi 12\text{mm}$ 之圓棒為測試材料。先以圓棒中心為基準點目測至砂輪中心軸線，以Y軸方向研磨後以其角度為基準再依相對位置調整其高度，以觀察研磨高度對軸向角度之變化。其軸向角度研磨測試以砂輪直徑 $\phi 205\text{mm}$ 進行角度研磨，如圖(40)。一開始我們以 $1\text{mm}$ 為單位間距做測試，但因為其角度變化量不明顯不易觀察，所以我們以 $3\text{mm}$ 、 $4\text{mm}$ 、 $5\text{mm}$ 的間距做為這次實驗的位移量。磨削完成後，原本要以學校的光學投影機做角度的量測，但因學校的光學投影機年久失修使得無法使用，所以我們運用 Auto Cad 將照片描繪其角度，並觀察角度變化之狀況，如圖(41)。



圖(40)測試棒實際磨削圖



圖(41)軸向角度變化圖

從表(3)當中我們可以觀察到，每次位移量愈大時其測量角度值越大，且觀察到每次位移與角度變化量為定值，在每次位移量 3mm 時第一次為移與第二次位移之角度變化量皆為  $4^\circ$ ；在每次位移量 4mm 時，角度變化量皆為  $5^\circ$ ；每次位移量 5mm 時角度變化量皆為  $6^\circ$ ，由此可推論每次位移量在 3mm 以上，每增加 1mm，角度變化量約提高  $1^\circ$ 。

表(3)研磨高度對軸向角度之變化表

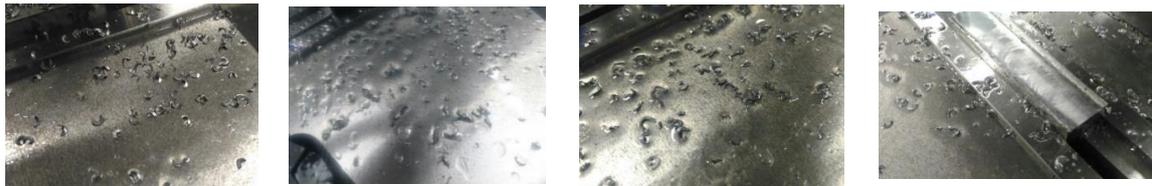
位移次數	每次位移量	3mm	4mm	5mm
	量測角度			
基準角度		$3^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$
第一次位移 (角度變化量)		$7^\circ$ ( $4^\circ$ )	$11^\circ$ ( $5^\circ$ )	$12^\circ$ ( $6^\circ$ )
第二次位移 (角度變化量)		$11^\circ$ ( $4^\circ$ )	$16^\circ$ ( $5^\circ$ )	$18^\circ$ ( $6^\circ$ )

## 二、不同間隙角度之端銑刀銑削測試

我們透過簡易式銑刀研磨機構研磨出不同間隙角度的端銑刀，觀察其實際切削情形，並利用表面粗糙度儀檢測出銑削面之表面狀況。因此，本實驗將全新端銑刀與間隙角  $3^\circ$ 、 $6^\circ$ 、 $12^\circ$  等四支端銑刀，使用轉速 1100rpm 之切削條件進行加工，分別依切屑形狀、表面刀痕和表面粗糙度進行測試與分析，其詳細結果說明如下。

### (一) 切屑形狀

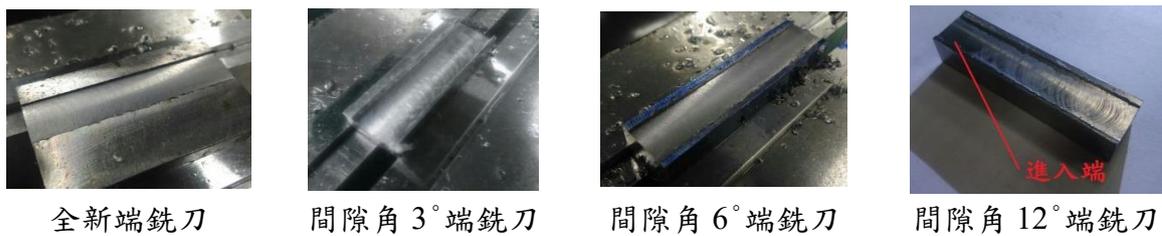
全新端銑刀做試片切削加工，測試時發現切屑形狀為 C 型片狀，其切屑邊緣平整無撕裂傷，且加工後切屑顏色為金屬原色。間隙角  $3^\circ$  之端銑刀切屑為螺旋條狀，其切屑外緣有明顯撕裂痕跡、切屑顏色呈現淺褐色，表示切削時所造成的溫度較前面兩者來得高。而觀察間隙角  $6^\circ$  端銑刀之切屑發現，其切屑型態與全新端銑刀相近。間隙角  $12^\circ$  之端銑刀其切屑為較細長 C 型片狀外緣則無明顯撕裂傷，如圖(42)。



全新端銑刀 C 型片狀切屑      間隙角 3° 螺旋條狀切屑      間隙角 6° C 型片狀切屑      間隙角 12° 較長 C 型片狀切屑  
 圖(42)間隙角度變化之切屑情形

### (二) 表面刀痕

全新端銑刀做試片切削加工，發現其加工面細緻無明顯刀痕，且以手觸摸表面平整無嚴重凹痕。以肉眼觀察間隙角 3° 之端銑刀其加工面，可以發現表面有明顯呈現絲狀的刀痕，用手觸摸其表面感覺凹凸不平，屬於較不理想的加工面。而觀察間隙角 6° 端銑刀之加工面其狀態與全新銑刀之加工面差異甚小。間隙角 12° 之端銑刀其加工面在端銑刀進入端較為平整，但因其間隙角度刀角度過大，影響刀口強度使得刀刀磨損較快導致其加工面刀痕越來越明顯，如圖(43)。

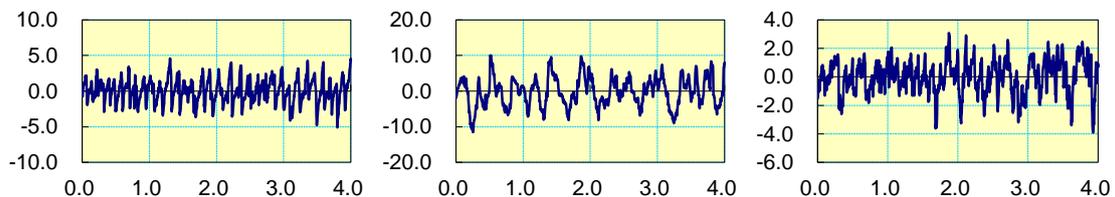


全新端銑刀      間隙角 3° 端銑刀      間隙角 6° 端銑刀      間隙角 12° 端銑刀

圖(43)間隙角度變化之加工面銑削情形

### (三) 不同間隙角度與表面織構之比較

本次表面織構粗糙度測試，透過表面織構波濾器之輪廓參數為 R (粗糙度) 輪廓進行加工表面粗糙度的數值分析。取樣長度為 0.8mm，評估長度為 5 倍的取樣長度，當作表面粗度測量之基準。並且利用電腦軟體 SJ-Communication-Tool 與表面織構波濾器進行資料實驗分析，所得表面織構粗糙度之波紋與數值透過 Excel 擷取而出，結果如圖(44)所示。



全新端銑刀表面織構粗糙度為 Ra1.727 $\mu$ m

間隙角 3° 表面織構粗糙度為 Ra 3.319 $\mu$ m

間隙角 6° 表面織構粗糙度為 Ra 0.923 $\mu$ m



間隙角  $12^\circ$  進入端表面粗糙度為 Ra 1.456 $\mu\text{m}$       間隙角  $12^\circ$  切削至尾端時，粗糙度為 Ra 2.064 $\mu\text{m}$

圖(44)表面織構粗糙度之波紋與數值

綜合上述之實驗分析結果，並且將不同間隙角度與表面織構之比較情形詳列於表(4)中。本次實驗分析我們以全新端銑刀之銑削情形及加工表面作為參考基準，其表面織構粗糙度數值為 Ra 1.727 $\mu\text{m}$ 。間隙角  $3^\circ$  之端銑刀切屑型態為螺旋條狀，在切削過程中可以感覺到切削阻力較大，其表面刀痕為本次實驗中最为明顯，表面織構粗糙度數值為 Ra 3.319 $\mu\text{m}$ 。當間隙角  $6^\circ$  之端銑刀在切屑型態方面與全新銑刀最為接近，且表面刀痕及表面粗糙度也為本次實驗中得到最佳狀態，其表面織構粗糙度數值為 Ra 0.923 $\mu\text{m}$ 。而間隙角  $12^\circ$  之端銑刀，雖然切削阻力感覺較小，但在表面粗糙度測量時，可發現其進入端之表面粗糙度為 Ra 1.456 $\mu\text{m}$ ，然而切削至尾端時，其粗糙度卻為 Ra 2.064 $\mu\text{m}$ ，參考文獻資料判斷其原因為間隙角度過大，導致影響刀口強度，使得刀刃於切削過程中產生快速磨損，造成尾端之表面粗糙度有較差的現象，故間隙角為  $12^\circ$  刀角較為不理想。

表(4)不同間隙角度與比較項目情形表

比較項目 間隙角度	切屑形狀	表面刀痕	表面織構 粗糙度( $\mu\text{m}$ )	備註資料
全新	C 型片狀	最佳	Ra 1.727	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <span style="width: 10px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> 較佳         </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <span style="width: 10px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> 普通         </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="width: 10px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> 較差         </div> </div>
$3^\circ$	螺旋條狀	較差	Ra 3.319	
$6^\circ$	C 型片狀	較佳	Ra 0.923	
$12^\circ$	較長 C 型片狀	普通	Ra 1.456-2.046	

## 伍、討論

本專題之討論依滑軌與螺桿傳動情形、砂輪表面修整之影響、間隙角研磨高度與角度變化以及不同間隙角度對切削情形之影響，四個部分進行討論，其詳細內容如下。

### 一、滑軌與螺桿的傳動情形

進行端銑刀研磨時，砂輪脫落的磨粒會附著在滑軌與螺桿，導致傳動的不順暢，以及磨損滑軌之表面。脫落的磨粒也使鎖緊螺絲鎖固

時無法完全與面貼合，因此研磨時所造成的震動會將刀座鎖緊螺絲鬆開。在刀角研磨當中，我們發現砂輪機轉動時之震動會導致 Z 軸螺桿轉動，造成刀座滑塊產生高度位移現象。因此我們在側立板上製作 M5 螺絲孔以銅製的固定螺絲加以鎖緊。

## 二、砂輪表面修整之影響

一開始研磨端銑刀時，沒有事先修整砂輪表面，使研磨出來的角度及表面不如預期，所以我們想了改善方法，將鑽石砂輪修整器裝置在刀座滑塊上，在研磨前修整砂輪，使砂輪表面與機構平行並將鈍化的輪面去除。

## 三、間隙角研磨高度與角度變化

我們以  $\phi 12\text{mm}$  測試棒研磨其角度，以 Z 軸上升研磨，量測其角度變化多大，每上升 3mm 角度偏至  $4^\circ$ ；上升 4mm 角度偏至  $5^\circ$ ；上升 5mm 角度偏至  $6^\circ$ ，由此得知我們了解到每上升 1mm 角度會變大約  $1^\circ$ 。

## 四、不同間隙角度對切削情形之影響

實施量測間隙角  $6^\circ$  銑削過程排屑順暢，阻力不會過大，刀角也不會有其他干涉之問題；間隙角  $3^\circ$  銑削時阻力過大，且有刀角干涉之問題；間隙角大於  $12^\circ$ ，雖然阻力較小，但因角度過大銑削時，導致影響刀口強度使得刀刀於切削過程中快速磨損，甚至崩裂。

## 陸、結論

本專題之結論發現整體式端銑刀並非全部刀角皆需研磨、滑軌位移量愈長誤差值越大、滑軌與螺桿部位應增加防塵護蓋（套）、修整與銑砂輪會影響端銑刀研磨表面與角度、Z 軸高度位移量越大研磨角度變化量越大以及間隙角以  $6^\circ$  為最佳研磨角度，並依其六項發現進行結論說明，其詳細內容如下。

### 一、整體式端銑刀並非全部刀角皆需研磨

此專題設計為研磨端銑刀機構，因此我們了解有些刀角在端銑刀外型上或研磨過程中即自然成形，並不需要多加研磨，譬如徑向與軸向切削角、徑向次間隙角與間隙角、螺旋角及徑向峰地等。

因此本機構設計的部分，只針對軸向間隙角與次間隙角、端刃凹角及刀端讓角等做研磨刀角設計考量，其餘刀角為自然成形，因此不加以考量將其他功能設計於其中。

## 二、滑軌位移量愈長誤差值越大

我們根據測試結果發現，滑軌位移量愈長時其誤差值越大，導致此現象之原因有可能為滑軌與滑塊之間的間隙或是兩者之間平行度不一導致移量愈長其誤差值越大。另發現，在軸向部分以Z軸誤差值最小。

## 三、滑軌與螺桿部位應增加防塵護蓋（套）

增加防塵護蓋能夠防止脫落磨粒在傳動時刮傷滑軌表面、減少磨粒附著在導螺桿之情形，解決轉動手輪不順的問題，也能使此機構使用更長久，因此建議在刀角研磨機構設計時應考慮防塵問題，加裝防塵護蓋（套）。

## 四、修整與削銳砂輪會影響端銑刀研磨表面與角度

使用鑽石砂輪修整器將鈍化的輪面去除與砂輪削平，並增加砂輪利度，研磨端銑刀時才能得到正確的刀角及理想的表面。經過我們測試，若砂輪表面與機構不平行使偏擺角度不正確，將無法研磨出理想的端刃凹角，並發現若以鈍化砂輪面研磨將會導致刀具過熱甚至焦黑，產生退火現象，使刀具強度變弱。

## 五、Z軸高度位移量越大研磨角度變化量越大

測試Z軸高度位移量對於角度變化之關係時發現每次位移量2mm以下其角度變化不大，因此我們從每次位移量3mm開始做測試，經過測試後發現每次位移量在3mm以上，每增加1mm，角度變化量約提高1°。將端銑刀擺至大略位置，研磨一角度後，使用量角器量測與期望之角度值相差多少，並採用補差值方式研磨，便能夠準確的研磨出最佳之刀角。

## 六、間隙角以6°為最佳研磨角度

經過多次改變間隙角之角度，我們測試結果得到間隙角為3°便會有干涉以及加工之表面有不規則刀痕和凹凸不平的現象；而間隙角為12°之加工面在端銑刀進入端較為平整，但因其間隙角度刀角度過大，影響刀口強度使得刀刃磨損較快導致其加工面刀痕越來越明顯，因此我們得知間隙角6°為最佳切削之角度。

## 柒、參考資料

- 一、張甘棠 (1993)。機工學全冊。三文：台北市。
- 二、謝文隆 (1995)。精密量測。三文：台北市。
- 三、簡明工具鉗工手冊編寫組編(1995)。簡明工具鉗工手冊。建宏：新北市。
- 四、姜義浪 (1996)。切削刀具學—切削刀具研磨技術。全華：台北市。
- 五、李鈞澤 (2001)。切削刀具學。新文京：新北市。
- 六、黃世峰、陳文峰 (2002)。車床實習Ⅱ。台科大：新北市。
- 七、王俊傑 (2005)。機械製造〈含實習〉、機械製圖(上)。松根：台北市。
- 八、陳勤仁、施忠良 (2007)。銑床實習Ⅱ。台科大：新北市。
- 九、陳勤仁、施忠良 (2008)。銑床實習Ⅰ。台科大：新北市。
- 十、施忠良、徐世威 (2009)。數值控制機械實習Ⅰ。台科大：新北市。
- 十一、洪良德 (2009)。切削刀具學。全華：新北市。
- 十二、蔡德藏 (2010)。工廠實習—機工實習。全華：新北市。
- 十三、陳伯瑄 (2011)。鑽石砂輪磨削端銑刀具之加工性能研究。國立虎尾科技大學創意工程與精密科技研究所碩士論文，未出版。
- 十四、楊仁聖 (2012)。機械基礎實習。科友：新北市。
- 十五、王俊傑 (2012)。綜合機械加工與專題製作。台科大：新北市。
- 十六、辜樹仁、林昭儀 (2013)。靠一隻銼刀，28歲年薪百萬。天下雜誌。2017年1月20日。  
取自 <http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5047030/>
- 十七、姜禮德 (2014)。機械製造Ⅰ。龍騰：新北市。
- 十八、王千億、王俊傑 (2014)。機械製造Ⅱ。全華：新北市。
- 十九、吳清炎、李建億 (2014)。製圖實習Ⅱ。華興文化：台北市。
- 二十、張弘智、陳順同 (2014)。機械基礎實習。全華：新北市。
- 二十一、葉士銘 (2014)。以端銑刀做面銑加工之表面粗糙度分析。  
逢甲大學機械與電腦輔助工程學系機械工程碩士論文，未出版。
- 二十二、李榮華 (2015)。機件原理Ⅰ。龍騰：新北市。
- 二十三、張木生、李孟宏、吳清炎、李建億 (2015)。產品幾何技術規範 (GPS) 標註與應用。華興文化：台北市。