

投稿類別 :工程技術類

篇名 :探討 CNC 銑床顫振的現象

作者；

莊子毅。台北市立松山工農。機械科機三仁班

沈子恒。台北市立松山工農。機械科機三仁班

杜可瀚。台北市立松山工農。機械科機三仁班

指導老師：

胡銘軒老師

林俊呈老師

探討 CNC 銑床顫振的現象

壹、前言

一、研究動機

就讀機械科的學生一定會使用到車床、銑床等基本設備，而在切削過程中多少都會遇到一些加工上的問題，我們在使用 CNC 車床、銑床加工的過程中常常會遇到振刀的現象。此現象會造成刀具破損、工件的表面粗糙度變差，甚至還會影響工件的精度，因此在加工過程中，振刀常會造成加工者的困擾，並出現在加工路徑的側壁，此種現象叫做「顫振 (Chatter)」。

顫振是由非穩態切削導致的自激振動 (Sonya, 2017)，在切削過程中都會要求工具機有一定剛性，當超過所需要的剛性時，切削過程就會產生振動，而當刀具再次經過這些刀痕時，就會引起更大的振動，尤其是在垂直表面的表現更明顯。所以我們決定要深入研究轉速、進給量和切削深度對此現象的影響。

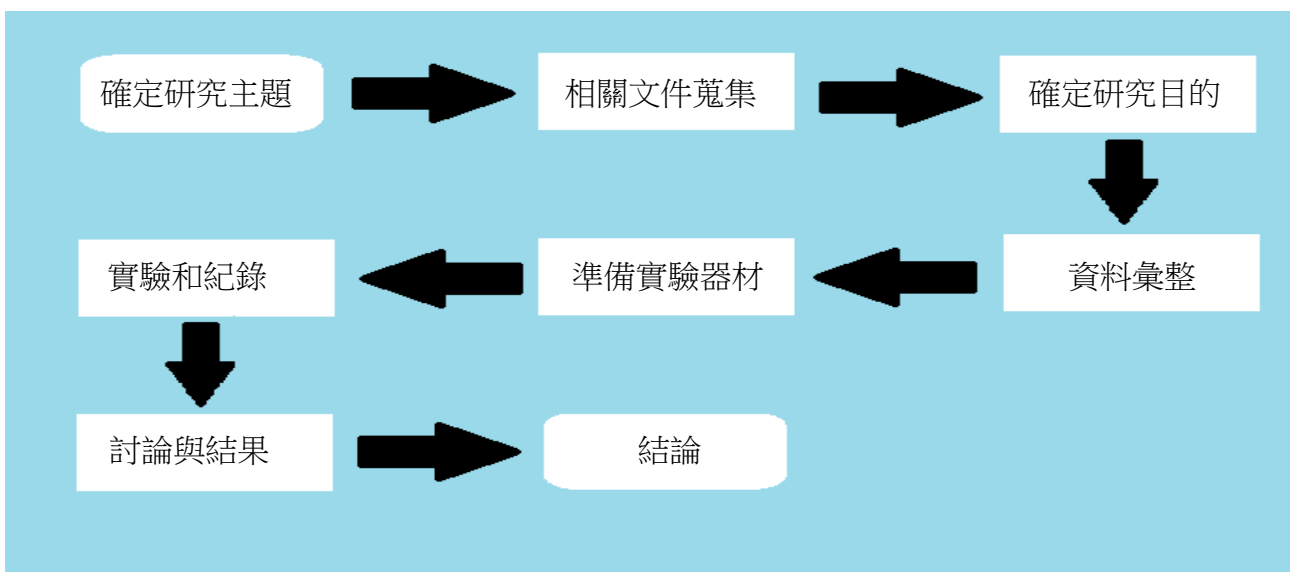
二、研究目的

我們在實習過程中，常常因為顫振現象而導致工件表面粗糙度變差，而影響顫振現象的主要因素有轉速、進給量和切削深度。因此我們的研究目的如下：

(一)探討在正常切削中，發生顫振的原因和問題。

(二)探討轉數、進給量和切削深度在顫振時的影響。

三、研究方法



(圖一) 研究方法流程圖

貳、正文

一、文獻探討

(一) 顫振種類

顫振可分為自由顫振、強制顫振和自激顫振等三個種，都會在加工側壁與底面產生紋路，但每個發生的原因也有所不同。其詳細說明如下。

1、自由顫振：物體在外力撤銷後按自身固頻率進行振動，由於阻尼的存在振幅逐漸減小而停止 (Beeway, 2012)。

2、強制顫振：有受到外力作用而產生的振動，通常會出現在斷續切削或工具機零件有瑕疵、主軸不平衡、齒輪契合不佳等。這些中只有斷續切削是加工造成，其他都屬於工具機裝配和機台結構品質不佳。

3、自激顫振：這是因為切削加工時具有週期性的工作凹凸不平特性造成週期相位的少許錯開而又反覆重疊的再生效果所產生的影響一般又可稱之為“共振” (Beeway, 2012)。

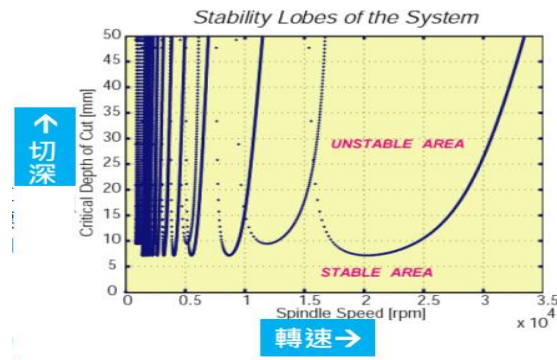
根據上文的敘述，可知道而在適當的切削加工中，自由顫振是一定存在的，而強制顫振中工具機、零件瑕疵、主軸不平衡等，因此我們使用同台機台來降低強制振顫的影響。故本文就針對自激顫振進行研究。

(二) 自激顫振的來源和研究

造成振動有分為高頻和低頻，高頻振動主要是由刀具、薄壁工件、主軸轉速高低和切削進給速度所產生的；低頻振動則是由機台結構和傳動系統振動產生。

1950 年針對工具機提出「顫振穩定耳垂圖」的觀念，是最早指出工具機的切削穩定性與切削轉速有密切關係的研究，其形狀有如耳垂一般而得名 (彭達仁、2014)。穩定耳垂圖是以切削轉速為橫座標，切削深度為縱座標來表示工具機切削的臨界穩定曲線 (如圖二)。由此圖可知道，當轉速在 10000rpm 以下時，切削深度要在 7mm 以下才屬於穩定狀態；而轉速到達 25000rpm 以上時，切削深度與轉速成正比關係，轉速越高則切削穩定範圍越大。根據顫振穩定耳垂圖我們可以知道切削深度和主軸轉速對顫振有很大的影響，所以我們將使用切削深度和主軸轉速當作本實驗中的兩個參數。

探討 CNC 銑床顫振的現象



(圖二) 顫振穩定耳垂圖

(圖二資料來源：工業技術研究院)

(三) 切削顫振 (穩態、非穩態)

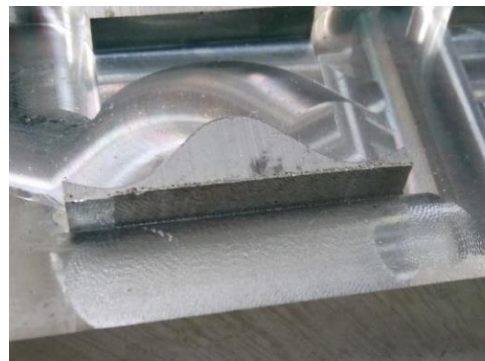
大的切深就是顫振的主要原因，而穩態和非穩態主要差異在刀具經過重複路徑時振紋是否與上次振紋相同，而前一刃留下的切削紋與下一刃切削紋相差 180 度就會在側壁產生嚴重的振動。

(四) 顫振產生的影響

顫振造成的負面影響有非常多，較為常見的有刀具磨損、斷裂、加工表面不良、尺寸誤差大 (如圖三，圖四)，較嚴重還會縮短工具機壽命，所以絕不可忽略此問題。



(圖三) 工件側壁表面不良



(圖四) 工件底部表面不良

(五) 進給量對顫振的影響

顫振會使工件側面產生振刀紋，而顫振越嚴重根據研究「工件表面會因為加工刀具、進給量和主軸轉速等的不同，而有不同的加工紋路，這就是表面粗

探討 CNC 銑床顫振的現象

糙度」(林文豐、陳億成、林寰生, 2001), 所以我們決定用 CNC 銑床來探討進給量、主軸轉速和切削深度對顫振現象的影響。

測量表面粗糙度的方法可以使用「表面粗度儀」測量工件側面的輪廓粗糙數值。所以我們將使用表面粗度儀來當作本研究之儀器。

(六) 表面粗糙度

表面粗糙度是由輪廓與特徵組成, 可分為 Ra、Rz、Rmax 三種, 三種都是以工件一段當作基準, 以不同方式測量出來的數值。

- 1、Ra: 「以中心線平均粗糙度與粗糙度曲線中心線的偏差絕對值的平均值, 來表示表面粗糙度的一種方法, 又稱為算術平均粗糙度值」(張郭益, 2009)。
- 2、Rz: 在基準表面中, 取基準長度之最高峰五點和基準長度中最低處五點互相減去, 就稱為 Rz, 而 Rz 主要是表示基準表面中, 最高點平均值和最低處平均值的距離, 又稱為十點平均粗糙度。
- 3、Rmax : 是以基準長度中, 取最高峰一點和最低處一點之距離和。主要用來規定基準長度中, 最大值和最小值距離相差的界線。

由上面敘述可以了解, Ra 是以基準長度的全部輪廓值來平均, Rz 是以高低十點的平均, 而 Rmax 是以最高點和最低點的平均來表示。但由於中華民國國家標準是使用中心線平均粗糙度 Ra, 所以我們將使用 Ra 來當此測試的單位。

二、實驗配置

(一) 加工參數計算

1、主軸轉速

張弘智、陳順同(2010)指出「**低碳鋼之切削速度為每分鐘 24- 34m (m/min), 每刃進給量為每分 0.1 釐米 (mm/min)**」。根據切削速度公式為 $V=\pi DN/1000$ [V: 切削速度 (m/min)、N: 主軸轉速 (rpm)、D: 刀具直徑 (mm)]。我們取低碳鋼之切削速度 24~34 (mm/min) 的中間值 30 (m/min) 作為本測試參數, 刀具直徑選用 10mm 高速鋼。而使用切削轉速公式可算出 N 約

探討 CNC 銑床顫振的現象

等於 1000 (rpm)。所以我們把基準轉速 (S) 設 1000 轉，再以兩倍 2000 轉作為比較。

單位: $F(\text{mm}/\text{min})$ 、 $N(\text{rpm})$ 、 $V(\text{m}/\text{min})$ 、 $D(\text{mm})$

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \rightarrow 30 = \frac{3.14 \times 10 \times N}{1000}, N \approx 1000 (\text{rpm})$$

2、進給量

知道主軸轉速後，就可求出銑刀的進給量 (mm/min)，銑刀的進給量為相對轉軸工件之進給速度，可由 $F=fzN$ 求出銑刀的進給量， z =刃數， f =每一刃進給量，而高速鋼之每刃進給量為 0.1 (mm/min)，由下面所有公式及可算出 F 為 200 (mm/min)。所以我們進給率 (F) 是以 200mm/min 作為基準，取正負 50mm/min 做為本實驗比較。

單位: $F(\text{mm}/\text{min})$ 、 $f(\text{mm}/\text{min})$ 、 $D(\text{mm})$ 、 $N(\text{rpm})$

$$F = f \times z \times N \rightarrow F = 0.1 \times 2 \times 1000, F = 200$$

3、切削深度

根據高速鋼刀具參數，「**切削深度為直徑的 0.67 倍**」(施忠良，徐世威，2009)，所以我們切削最深度是 5mm，為了不讓刀具在負荷邊緣，所以使用最深為 4mm。我們則以切削深度 1mm 與最大切削深度 4mm 做比較。

(二) 實驗設計

我們要使用 CNC 銑床進行表面粗度實驗，而我們使用的材料是 S20C 低碳鋼，刀具是用高速鋼銑刀。根據上文加工參數計算，所以我們把轉速 (S) 設 1000 轉和 2000 轉，切削深度以 1mm 與 4mm，進給率 (F) 從 150 至 250 每 50 mm/min 紀錄一次，再透過表面粗度儀測量測面之粗糙度。

(三) 研究工具

- 1、工具機：益全 CNC 銑床 (圖七、圖八)
- 2、使用材料：S20C 低碳鋼
- 3、使用儀器及軟體：電腦、MasterCAM X9、三豐 SJ210 表面粗度儀 (圖五、圖六)

探討 CNC 銑床顫振的現象

4、使用材料、刀具及工具機之數量需求，如（表一）

表一：材料、刀具及工具機表

名稱	數量	單位
益全 CNC 銑床	1	台
Ø 10 高速鋼銑刀	1	支
三豐表面粗度儀	1	台
120*70*20 低碳鋼	2	塊
電腦	1	台



（圖五）三豐 SJ210 表面粗度儀



（圖六）三豐 SJ210 表面粗度儀



（圖七）益全 CNC 銑床



（圖八）益全 CNC 銑床

探討 CNC 銑床顫振的現象

三、實驗流程

先使 Mastercam X9 規劃要加工的路徑，進給量設定為 150、200、250mm/min，主軸轉速設定為 1000、2000rpm，切削深度設定成 1mm 與 4mm。在 Mastercam 中模擬路徑完成之後就可使用 CNC 銑床進行加工。加工完成即可使用表面粗度儀測量，測量完成就將數值記錄到表格。

表格設計中（表二，表三），我們使用兩組表格，一組是切深 1mm 另一組則是切深 4mm 作為對比。縱向參數是進給量（mm/min）。橫向參數是主軸轉速（rpm），表格填入值則是表面粗糙度（Ra, μm ）。

一、實驗結果

表二（1mm）實驗參數表（單位: Ra, μm ） 表三（4mm）實驗參數表（單位: Ra, μm ）

轉速 進給	1000rpm (1mm)	2000rpm (1mm)
150 mm/min	Ra 0.723	Ra 0.524
200 mm/min	Ra 1.096	Ra 0.647
250 mm/min	Ra 1.527	Ra 0.978

（表二資料來源：研究者繪製）

轉速 進給	1000rpm (4mm)	2000rpm (4mm)
150 mm/min	Ra 1.312	Ra 0.955
200 mm/min	Ra 1.482	Ra 1.196
250 mm/min	Ra 1.852	Ra 1.432

（表三資料來源：研究者繪製）

（一）表二切削深度 1mm 之實驗分析

根據表二顯示，我們可以了解當主軸轉速固定 1000rpm 時，進給量在 150mm/min 的表面粗糙度是 0.723 μm ；再上升至 200mm/min 的粗糙度是 1.096 μm ，而當進給量增加到 250mm/min 的時候，表面粗糙度變為 1.527 μm ，前者和後者相差了兩倍，有非常明顯的差異。

而主軸轉速固定 2000rpm 時，進給量為 150mm/min 的粗糙度是 0.524 μm ；進給量增加到 200mm/min 的時候，粗糙度為 0.647 μm ，最後進給量 250mm/min 的數值為 0.978 μm 。根據主軸轉速 1000rpm 和 2000rpm 的變化可以發現在一定的進給量中，適當的增加主軸轉速可以有效的改善切削顫振的問題。

（二）表三切削深度 4mm 之實驗分析

探討 CNC 銑床顫振的現象

在表三的顯示中，切削深度變為 4mm，而其他的實驗參數和表二相同，當主軸轉速固定 1000rpm 時，進給量在 150mm/min 的表面粗糙度是 $1.312 \mu\text{m}$ ；再上升至 200mm/min 的粗糙度是 $1.482 \mu\text{m}$ ，而當進給量增加到 250mm/min 的時候，表面粗糙度變為 $1.852 \mu\text{m}$ ，在 1000rpm 的粗糙度中，就可以明顯的發現，在切削深度增加時，顫振現象也變得非常明顯。

而主軸轉速固定 2000rpm 時，進給量為 150mm/min 的粗糙度是 $0.955 \mu\text{m}$ ；進給量增加到 200mm/min 的時候，粗糙度為 $1.196 \mu\text{m}$ ，最後進給量 250mm/min 的數值為 $1.432 \mu\text{m}$ 。表示適當的增加主軸轉速可以有效降低切削顫振現象。

(三) 表二、表三實驗分析之比較

根據表二與表三可得知，切削深度較深時，無論轉速與進給量的高低，表面粗糙度都比切削深度較淺時高，而當轉速越高時，切削深度對表面粗糙度的影響會比較小。

參、結論

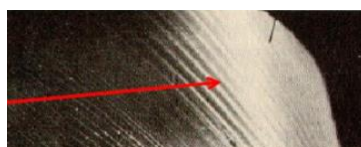
(一) 探討在正常切削中，發生顫振的原因和問題。

發生顫振的原因，主要是由刀具在切削時與工件側壁接觸產生，而影響其嚴重性之因素為主軸轉速、進給率與切削深度，而次要因素則是由機台本身結構與傳動造成。

若不解決顫振現象，下次刀具在經過相同位置時，就會造成非穩態顫振（圖九）。而每把刀具和加工材料適合的切削參數不同，使用適當的切削參數就能把切削顫振降至最低，讓工表面和側面保持穩態顫振（圖十）。



(圖九) 非穩態顫振



(圖十) 穩態顫振

(圖九、十資料來源：工業技術研究院 (2014)。取自 <http://bit.ly/2zmPo7C>)

(二) 探討轉數、進給量和切削深度在顫振時的影響。

- (1) 當進給量與切削深度固定時，轉速越低，所產生的顫振現象較嚴重，得到的表面較不理想。
- (2) 當轉速與切削深度固定時，進給量越高，所產生的顫振現象較嚴重，得到的表面較不理想。
- (3) 當轉速與進給量固定時，切削深度越深，所產生的顫振現象較嚴重，得到的表面較不理想。

探討 CNC 銑床顫振的現象

在這次的研究中我們可以知道，三種不同的固定因素，對顫振的現象，都有些微的影響，而也可以從此而知，在日後的加工中如何降低顫振現象，使工件表面粗糙度也進而降低。

肆、參考文獻

- 一、Sonya (2017)。金屬加工。壹讀新聞，取自
<http://bit.ly/2zpeJOf>
- 二、切削顫振 (2012)。2017 年 10 月 21 號，取自
<http://bit.ly/2zkGUhg>
- 三、彭達仁博士 (2014)。數位製造技術。工業技術研究院。取自
<http://bit.ly/2zmPo7C>
- 四、林文豐、陳億成、林寰生 (2001)。實用精密量測與機件檢驗。台科大。
- 五、張弘智、陳順同 (2010)。機械基礎實習。全華出版社。
- 六、張郭益 (2009)。精密量測。全華出版社。
- 七、施忠良、徐世威。數值控制機械實習 I。台科大出版社。