

東南技術學院機械工程系

專題製作報告

順逆銑對表面粗糙度 的影響

指導老師：黃仁清老師

學生：廖詮智

陳義哲

徐國峰

蘇俊揚

劉信煒

詹益銘

中華民國 90 年 11 月 20 日

目錄

摘要 4

一.前言.....	5
二.順逆銑之基本探討.....	6
2-1 順銑.....	6
2-2 逆銑.....	8
2-3 順銑與逆銑的比較.....	9
三.表面粗糙度的介紹及量測方法.....	11
3-1 表面粗糙度的簡介.....	12
3-2 表面量測上之基本術語.....	13
3-3 表面粗糙度的量測方法.....	17
四.順逆銑之切削，對表面粗糙度之影響.....	18
4-1 理想模式之表面粗糙度.....	18
4-2 建構理論表面粗糙度計算軟體.....	19

摘要

我們主要在研究順銑與逆銑在銑削加工中的影響，並比較其差異性，首先探討齒數、銑刀半徑、轉速與進給率還有切削深度對於表面粗糙度的影響，並探討順逆銑的不同以得到理論的表面粗糙度的數學模式。首先建立表面粗糙度與切削參數，即切削速度、進給率和切削深度的數學關係式，接著使用綜合切削中心加工機以田口方法進行低碳鋼與壓克力的平面端銑削實驗。受限於器材所以許多變數與條件，我們將假設其為最完美的狀況下來進行，我們將床台震動、刀具磨耗、加工料塊以及刀具的受熱形變通通忽略以便於進行實驗，也便於求出理想中的順逆銑切削加工數據。我們將實驗出來的加工數據，最後來與理論上的推導公式作相互的比較，我們會將之前所推論的數學公式撰寫成 VB 程式以方便數值的帶入，而可快速的求出金屬的切削表面粗糙度；另一方面將所有的實驗數據製作成圖表以及實驗時的條件通通整理詳細，以證明論文的可靠性。田口方法是以實驗的手段來決定設計參數。為了減少實驗的次數，我們依控制因子及其水準的數目選用了 L18 的直交表，來進行田口式方法的實驗。

第一章 前言

在金屬加工中，銑削製程是最常見而且應用範圍最廣的加工方式之一，對於各種不同的結構的結構零件的粗、精銑都是以端銑來完成的，故銑削加工後的尺寸精度便成為我們追求的重要目標[1]。

在整個銑削加工的領域裡，常見的加工型態不外是順銑與逆銑而現今已有的著作中，多已幾何形式來對兩種加工型態加以區別，很少涉及加工特性以及加工精確度方面。

對於加工後尺寸的精確度及表面粗糙度，Tlusty[2]指出某些刀具在幾何條件下，刀具的撓性在一突然的順時位置，可避免過度負載，且可減少振顫的發生，同時亦發現刀具的撓性，是影響表面尺寸正確性的重要因素。Natoinal Twist Drill and Tool Co[3,4]對端銑撓性及表面正確性作定量上研究，作了很多測試，並提出影響表面正確性的因素。包含了銑削型態、銑刀直徑、銑刀刃數、與切削條件(如軸向深度、徑向深度、每齒進給)等因素。同時亦證明刀具偏斜，在加工表面形成的過程中是一項住要因素。亦發現當銑刀旋轉時，切削的刃數在改變，且工件最後加工面的表面輪廓會與銑刀隻螺旋角有關係。

所以最後我們選定此題目作為專題，乃是因為對於順逆銑對工件

表面粗糙度影響的相關技術論文較為少見，故我們才有此研究動機。

第二章 順逆銑之基本探討

2-1 順銑

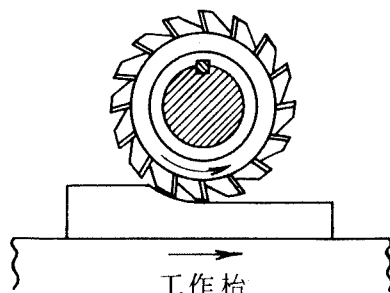


圖 1

銑削方向與進給方向同向(milling with the feed)，又稱向下銑削(down milling)或爬銑(climb milling)。

*** 特點** 銑刀在開始切削時，即為切屑最後之位置，可避免刀齒空滑，刀齒之磨耗量少，耐用度高，且平均切屑厚度大，切屑變形少，故可節省銑床之功率消耗，又刀齒為逐漸離開工件表面，故可消除大部分之刀齒痕跡，表面光度佳。

* 切削力方向之探討

順銑時，垂直分力 F_v 始終向下，而將工件壓往於床台，此點在細長工件之加工更為突出。而水平分力 F_h 則會因接觸角大於一定數值時，再剛切入其工件時，其方向與進給方向相反，但其大小隨切削之進行而變化。 F_h 之方向與大小的變化，會造成床台之間歇性移動

或震動，故須有消除床台進給機構之齒隙(backlash)之裝置。且在刀齒切入工件是在切屑最厚之處，故產生很高衝力(impact force)，所以機台與工件挾持必須堅固(rigid setup)。

* 應用 順銑不適合銑削表面具有鱗皮之工件，因為鱗皮相當硬、摩擦性高，對刀齒會有大的磨損與破壞而使刀具壽命縮短，所以熱加工金屬、鑄件、鍛件不適合用順銑。而 CNC 銑床因具有良好之剛性與齒隙消除裝置且要求長的刀具壽命與良好的工件表面光度和低功率消耗，故極適用順銑，其典型之利用是鋁材之精切削(finishing cuts)。

2-2 逆銑

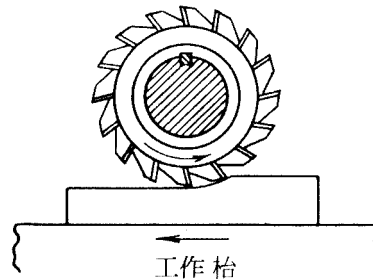


圖 2

銑削方向與進給為相反方向(milling against the feed)，又稱向上銑削(up milling)或傳統銑削(conventional milling)。

* 特點 加工時切屑最厚之位置產生於銑削行程之末端，而刀齒剛切入時，其切屑厚度為零，使刀齒空滑，因摩擦和研磨(friction and rubbing)，易使刀刃磨耗易降低刀具壽命。且屑片有焊於刀面之傾向，亦有 BUE 而影響表面完整度。

* 切削力方向之探討

逆銑時在當刀具剛切入工件時，由於刀齒與工件之擠壓與摩擦，故其垂直分力 F_v 可能往下，而當切離工件時， F_v 可能往上，此時工件受到向上之切削力而引起震動或顛振(chatter)，故會影響其加工精度與表面光度，不過逆銑仍有其優點，如刀齒之觸含量(engagement)不是工件表面特性之函數，且因其水平分力始終與進給方向，故不會產生床台之間歇性移動，適合老舊銑床，又因刀齒切入工件部位為加

工表面，故工件表面有鱗皮也不會影響刀具壽命。

2-3 順銑與逆銑的比較

2-3-1 順銑

- 1.優點：
 - a . 刀刃摩擦小，刀具壽命長。
 - b . 挾持容易，適合長薄型工件，加工表面光度佳。
 - c . 適合碳化物刀具 c n c 工具機上，重銑削或精銑削。
 - d . 切削功率消耗少。
- 2.缺點：
 - a . 易產生床台之間隙移動，需有消除床台進給機構之齒隙裝置。
 - b . 不適合工件表面有鱗片或硬點之鍛鑄件。
 - c . 加工時刀齒對刀件之壓力大，機台-夾具-工件之剛性需高，且易因衝擊而使刀具斷裂。

2-3-2 逆銑

優點：

- a . 不會產生床台之間歇性震動，可用老舊之銑台。
- b . 適合銑削有鱗皮或硬點之鍛鑄件。
- c . 刀齒平靜的切入工件，故不易斷裂（可提供銳利之刀齒）。

缺點：

- a . 刀刃摩擦大，刀具壽命少。
- b . 工件有向上推移之傾向，故挾持需穩固，不適合長薄工件且易震動，加工面表面光度差。
- c . 切削功率消耗大。
- d . 不適合 CNC 工具機上銑削。

第三章 表面粗糙度的介紹及量測方法 [5]

任何工件表面不管如何精密，加工完成之後的表面仍與理想表面有若干差異存在。如加以詳細檢驗，即可發現高低或凹凸等不規則的痕跡下表為各種加工方法的粗糙度範圍。

加工方法	中心線平均粗糙度值 R_a (μm)												
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125
火焰切割	■	■											
砂模鑄造	■	■											
熱軋	■	■											
鋸切	■	■	■	■	■	■							
鉋削	■	■	■	■	■	■	■	■					
鍛造		■	■	■	■	■	■	■	■				
銑削		■	■	■	■	■	■	■	■	■			
車削		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
搪孔		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
鑽孔			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
化學銑			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
放電加工			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
擠製			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
拉削				■	■	■	■	■	■	■	■		
絞孔				■	■	■	■	■	■	■	■		
輪磨				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
永久模鑄造				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
臘模鑄造				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
冷軋				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
引伸				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
滾筒磨光					■	■	■	■	■	■	■	■	
壓鑄					■	■	■	■	■	■	■	■	
搪光						■	■	■	■	■	■	■	
電化磨光							■	■	■	■	■	■	
壓光							■	■	■	■	■	■	
拋光							■	■	■	■	■	■	■
研光							■	■	■	■	■	■	■
超光							■	■	■	■	■	■	■

表中之“■”及“□”係分別表示在常有情況下及罕有情況下達到之表面粗糙度值，但如情況特殊，則二者均會有較高或較低之數值出現。

表 1 CNS 3-3 各種加工方法所能得到的中心線平均粗糙度範圍

3-1 表面粗糙度的簡介

表面組織的定義任何工件不管其表面加工如何精密，加工完成後之表面與理想面仍有若干差異存在。如加以詳細檢驗即可發現有高低或凹凸不平等不規則之痕跡，亦即構成了表面之重要特性。

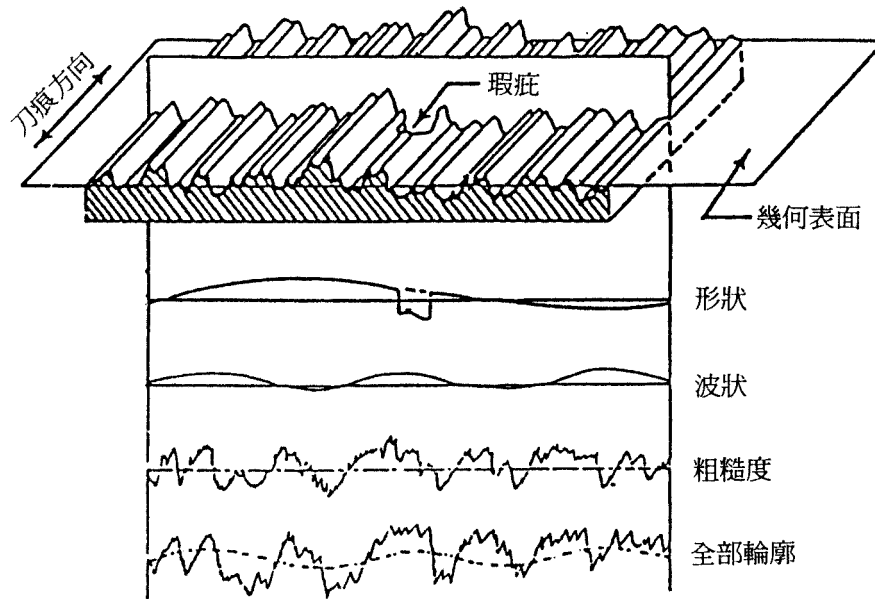


圖 3 工件表面全部輪廓

表面組織的幾何形狀基本上是由以下三大因素組成。

1. 形狀 (Form) - 又稱形狀誤差，主要是由機械及工件受力變形 (deformation)，及滑道直度不佳等誤差所引起的。

2. 波紋 (Waviness) - 由於加工時所產生的低頻震動，或機械振顫 (chatter)、繼器及工件撓曲 (deflection) 等因素所引起的低頻波形，波長約在 0.25 至 2.5mm 之間。

3. 粗糙度 (Roughness) 濾除前兩種形狀後，因實際加工時的高頻因素 (車削、銑削、研磨、噴砂、火焰等) 所引起的高頻表面不規則表面，波長約在 0 至 0.05mm 之間。

另外工件表面的瑕疵 (flaw)，如氣孔、缺陷、裂痕等，亦影響表面

組織。一般所統稱之工件表面全部輪廓(total profile)即由以上幾種因素所組成。

3-2 表面量測上之基本術語

1. 紋向(Lay)

切削加工後所遺留的加工痕跡或結晶粒之方向。

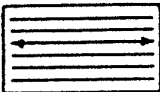
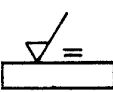
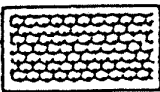
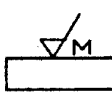
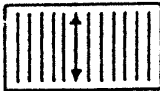
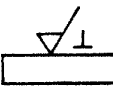

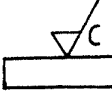
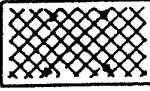
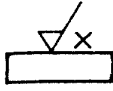
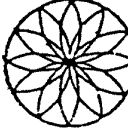
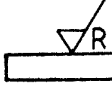
形別(符號)	紋 向	圖 示	形別(符號)	紋 向	圖 示
平 行 (=)			多重方向 (M)		
垂 直 (⊥)			圓 形 (C)		
十 字 (×)			輻 射 (R)		

圖 4 紋向的種類

2. 剖面曲線

即實際輪廓曲線為沿著工件表面垂直方向切下，以觀察齊高低不平波峰與波谷及不規則間隔情形的輪廓線。剖面曲線是量測表面粗糙度的基準，如圖 3-2-1 所示。

3. 粗糙度曲線

由量測儀器所取得之曲線。如利用探針在工件表面移動，經表面粗糙度量測儀的放大，做成紀錄繪製出來的曲線。它具有從縱剖面曲線除去低頻率成分特性之測量法所求之曲線。

1. 不規則點(Irregularities)

即實際理論上之波峰(peak)與波谷(valley)。

2. 樣本長度(sampling length)

表面長度，其足以顯示整個粗糙度的形式，而波紋在此效果很弱。換言之，樣本長度就是在此長度內有參數可供量測，並且有統計上的意義，如圖 3-2-2 所示。

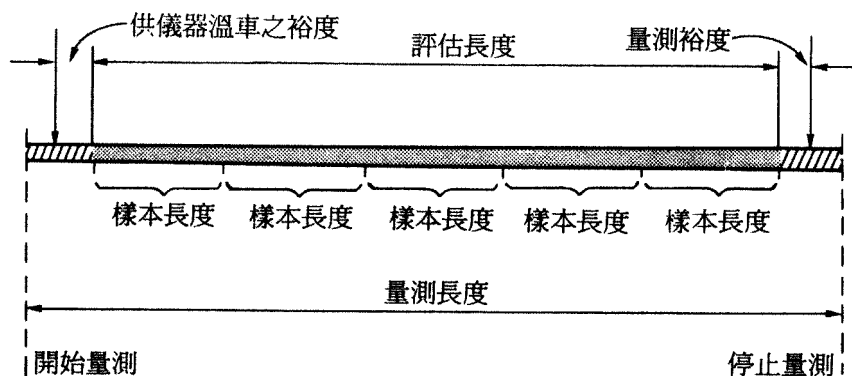


圖 5 樣本長度、評估長度即量測長度的關係。

6. 評估長度(Assessment length)

即為量測時的表面長度，包括幾個樣本長度，量測值即是幾個參數評估的平均值。CNS7868 所規定表面粗糙度中的基準長度(從剖面曲線抽取一定長度，該採取部分隻長度，即為基準長度)，可為樣本

長度或評估長度，如圖 3-2-3 所示。

7. 量測長度(Traverse length)

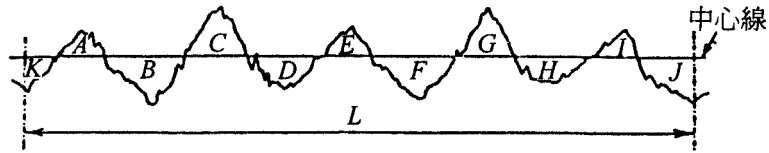
探測量測時，表面量測的總長度。由於量測的開始即結束需要一段長度，以排除機械與電氣的暫態現象，故量測長度要比評估長度要長如圖 3-2-3 所示。

8. 參考線(Reference line)

量化評估外型表面粗糙度所採用之參考基準線。

9. 中心線(Center line)

一將外型分成面積相等之兩部分，且平行於外型一般方向的參考線 如圖 3-2-3 所示

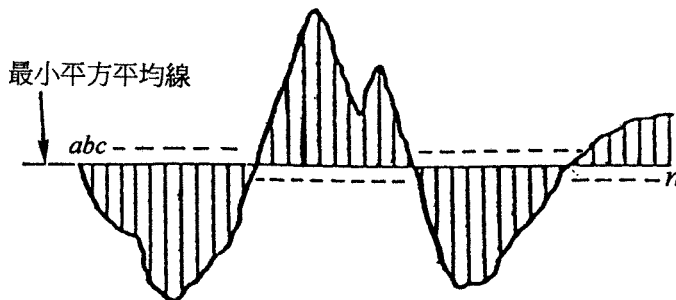


中心線之上外形所含面積總和等於線下外形所含面積。即面積
 $A+C+E+G+I = B+D+F+H+J+K$

圖 6 中心線之求法

10. 最小平方平均線 (Least square mean line)

粗糙度的斷面曲線，取其一段而再曲線間設一直線，若直線至上下曲線偏差距離平方的總和為最小時，此設定直線謂之，如圖 4-2-4 所示。



最小平方平均線是使 $a^2 + b^2 + c^2 + \dots + n^2$ 之總和為最小時，而定位之線段。

圖 7 最小平均線之求法

3-3 表面粗糙度的量測方法

表面粗糙度的量測方法有很多，如粗糙度標準片、放大鏡或工具顯微鏡，光線切斷、干涉儀量測、雷射掃描檢驗、粗糙度比較量

表、表面粗糙度儀等方法做比較、觀察或量測。常用者有粗糙度標準片、表面粗糙度量測儀極新近發展出來的高精度雷射干涉感測儀等方法來觀察比較或量測。

我們所使用的儀器是探針式表面粗糙度量測儀，無論是在工廠或是在實驗室，如要做表面特性的量測，經過精密校驗過的量測儀器是必須的。目前使用範圍最廣、最普遍的表面粗糙度量測儀器，首推電子探針式量測儀器，經過精密校驗後，具有相當高的準確性、重複性及可靠度而我們所使用的型號為 T1000。只要使用正確，其量測結果不會因人而異，為量測表面特性的重要量具，也是我們將實驗加工後的工件進行測量時所會用到的工具。

第四章 順逆銑對表面粗糙度之影響

本組試圖找出最佳表面粗糙度的金屬切削條件，所以我們使用了壓克力來實驗順逆銑對材料表面所造成的影響，並試圖找出最佳

的金屬切削參數，我們所假設的條件有齒數、銑刀半徑、轉速與進給率、削深度、本來刀具伸長量也是我們探討的重點之一，然而在實驗進行到一半的時候，忽然驚覺刀具無法向內放進夾具太多的尺寸導致於我們所預定的值並無法藉由改變伸長量來執行，只好將此一變數刪除。

4-1 理想模式之表面粗糙度

我們將假設其為最完美的狀況下來進行，我們將床台震動、刀具磨耗、加工料塊以及刀具的受熱形變忽略，只帶入齒數、銑刀半徑、轉速與進給率。

所以我們設計出來的數學公式是：

設有 T 齒， R 是刀具半徑， F 是進給率， n 是主軸轉速，

則某一刀齒運動軌跡方程式如下

刀齒 1(曲線 1):

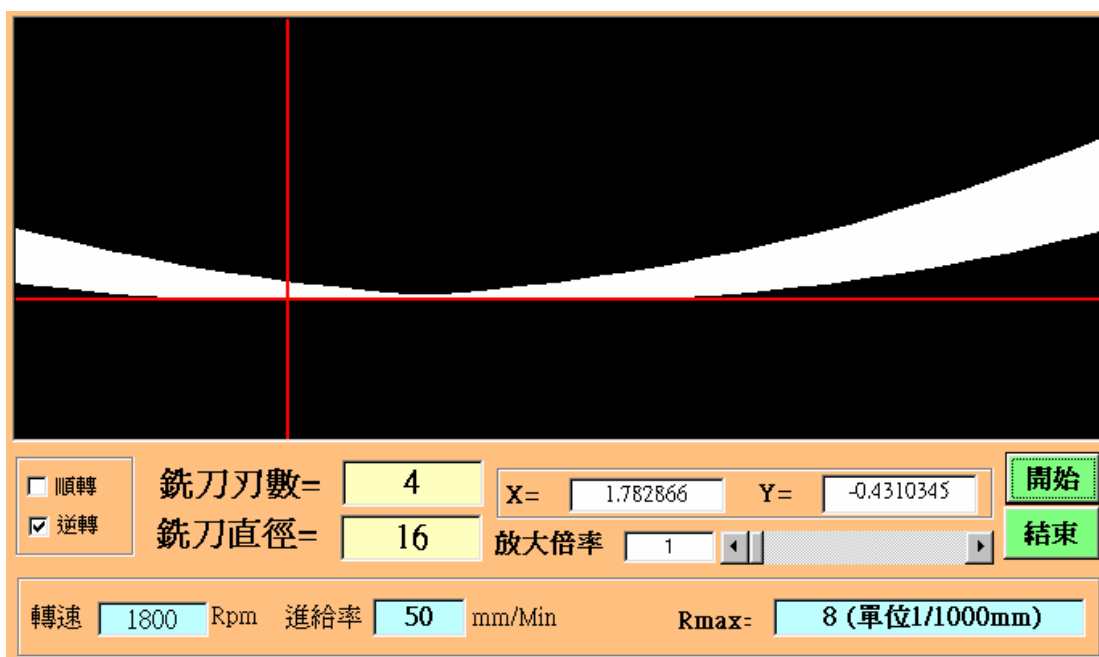
刀齒 2(曲線 2):

刀齒 N (曲線 N):

4-2 建構理論表面粗糙度計算軟體

本組以 Visual Basic[6]建構理論表面粗糙度計算軟體，可以直接輸入加工參數，即可得到理論表面粗糙度，以省去繁雜的計算過

程 如圖 8 為該軟體之外觀



如圖 8

銑刀刃數 = 4

銑刀直徑 = 16

轉數 1800 rpm

進給率 50 mm/Min

輸入上述數據 我們得到的值為

8(單位 1/1000 mm)

由此可證明與本組推導的數學公式所計算出來的無誤。

第五章 實驗設計與驗證

5-1 田口方法的介紹 [7]

「田口方法」是以實驗的手段（而非解析的方法）來決定設計參數。此處的「實驗」是廣義的，可能是實驗室的實驗、工廠生產線上的實驗，或者是電腦模擬實驗。此處的「設計參數」可能是生產製程參數，或者是產品的設計參數。為了減少實驗的次數，「田口方法」依控制因子及其水準的數目選用了適當的直交表。「田口方法」設計的目標是尋求最佳的產品（或製程）機能（性能），並且維持此一機能的穩健性，亦即受干擾因子的影響減至最少。「田口方法」的步驟可以簡要整理如下：

步驟一、選定品質特性（quality characteristics）。品質特性最好選擇可以測量的實數（連續值，非整數）參數；品質特性的選擇常常影響整個專案的成敗。

步驟二、判定品質特性之理想機能（ideal function），亦即品質特性之理想值。

步驟三、列出所有影響此品質特性的因子（factors），最好以魚骨圖（fish-bone diagram）的方式呈現。此步驟往往需要公司內各種專業人員長時間的腦力激盪。

步驟四、定出信號因子（signal factors）的水準（levels）。信號因子是可以由產品使用者（或製程操作者）自行調整的因子，信號因子之水準必須考慮橫跨所有可能調整的範圍。只有動態特性的問

題才有信號因子。

步驟五、從步驟三中所有因子中決定控制因子 (control factors) 並定出它們的水準。

步驟六、從步驟三中所有因子中決定干擾因子 (noise factors) 並定出它們的水準 , 必要的話 , 可以做「干擾實驗」(noise experiment) , 將一個以上的干擾因子「複合」(compound) 成單一的干擾因子。在磁磚實例中 , 干擾因子為「位置」

步驟七、依控制因子及其水準的數目選定適當的直交表 (附錄 A) , 並安排完整的實驗計劃。

步驟八、執行實驗

步驟九、資料分析。資料分析工作的主要目的是 : (1) 計算每個控制因子的變動對品質特性的效應 (effects) , (2) 計算每個控制因子的變動對品質特性變異的效應 , (3) 依據前二項的資訊 , 調整控制因子 , 使的品質特性最接近理想機能 , 此即新的設計值。

步驟十、對新的設計值做確認工作 , 以決定是否推廣至生產線上量產用。依據資料分析結果的資訊 , 預測在新的設計值下的品質特性值及其變異 ; 同時在新的設計值下做一實驗 , 此一實驗值與預測值作

比對，若夠接近，則新的設計值可以推廣至生產線上量產用，否則整個步驟必須重新檢討。

若有必要，可以回到步驟一，更進一步地改善品質及性能，直到最佳的產品（或製程）品質及性能為止。

以實驗的方法來決定設計參數，我們已知的實驗安排至少有下列四種方法：(1) 試誤法 (trial-and-error), (2) 「一次一因子」實驗法 (one-factor-at-a-time experiments), (3) 「全因子」實驗法 (full-factorial experiments), (4) 田口式直交表 (Taguchi's orthogonal arrays) 實驗法。

而我們所採用的乃是第四種田口式直交表 (Taguchi's orthogonal arrays) 實驗法

「田口式直交表」，或簡稱「直交表」，來與「全因子直交表」區別。

田口式直交表的構想是以較少的實驗次數（相對「全因子」實驗而言）來獲得有用的統計資訊，雖然理論上會有精度上的損失（「偏見」通常還是不能完全排除），但對解決工程品質問題的目的而言，田口式直交表常常是足夠的。

典型的一個直交表是以 $L_a(b^c)$ 來命名，它代表共有 a 組實驗、最多可以容納 b 個水準的因子 c 個，亦即代表一個 a 列 c 行的直交表；字母 L 是這直交表的原始名稱。

有些直交表同時可以容納兩種水準的因子(譬如二水準及三水準的因子),此時以 $L_a(b^c \times d^e)$ 來表示,它代表共有 a 組實驗、最多可以容納 b 個水準的因子 c 個,及 d 個水準的因子 e 個。圖 2.7 是一個稱為 $L_8(2^7)$ 的直交表,它的直交性是很容易看得出來的。

Exp	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

表 2 $L_8(2^7)$ 直交表

5-2 實驗設計

由文獻中得之順逆銑中的齒數、銑刀半徑、轉速與進給率會影響到表面粗糙度,而 R_{max} 就是銑刀銑削時切削出的弧形交錯而成

的點，而每一個弧所相接之點，而點所形成的座標距離圓弧的最低點的高度就是所謂的最大高度表面粗糙度，所以我們的實驗參數在文獻中還提到，理想表面粗糙度乃是一種理想狀況，是利用某一特定形狀刀具以行切削時，工件所能到得最佳表面情形，而僅有在切削時，其組合切刃口，震顫(chatter)，及切削不準度.....等現象均未發生時，本組方可得到此一理想表面粗糙度的情況。

由表 3 的參考文獻可得知針對各種材質的進給率皆有不同調整。

工作件材質		正面銑刀		螺旋刃銑刀		槽及側銑刀		端銑刀		成形銑刀		鋸割銑刀	
		HS	C	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
塑膠	Al, Mg 合金	0.32	0.33	0.25	0.30	0.20	0.23	0.18	0.18	0.10	0.18	0.03	0.10
	銅	0.55	0.50	0.45	0.40	0.32	0.30	0.28	0.25	0.18	0.15	0.13	0.13
黃銅 青銅	快削	0.55	0.50	0.45	0.40	0.32	0.30	0.20	0.25	0.18	0.15	0.18	0.13
	普通	0.25	0.30	0.28	0.25	0.20	0.16	0.18	0.15	0.10	0.10	0.08	0.06
	硬	0.23	0.25	0.18	0.20	0.15	0.15	0.13	0.13	0.08	0.06	0.06	0.06
鋼		0.30	0.30	0.85	0.23	0.18	0.18	0.15	0.15	0.10	0.10	0.06	0.08
鑄鐵	H _B 150 ~ 180	0.40	0.50	0.32	0.40	0.23	0.30	0.20	0.25	0.13	0.15	0.10	0.13
	H _B 180 ~ 220	0.32	0.40	0.25	0.32	0.18	0.25	0.18	0.20	0.10	0.13	0.08	0.10
	H _B 220 ~ 300	0.28	0.30	0.20	0.25	0.15	0.18	0.15	0.15	0.08	0.10	0.08	0.08
可鍛	鑄鐵, 鑄鋼	0.30	0.35	0.25	0.26	0.18	0.20	0.15	0.18	0.18	0.13	0.08	0.10
碳素鋼	快削鋼	0.30	0.40	0.25	0.32	0.18	0.23	0.15	0.20	0.10	0.13	0.08	0.10
	軟鋼, 中鋼	0.25	0.35	0.20	0.28	0.15	0.20	0.13	0.18	0.08	0.10	0.08	0.10
合金鋼	正常化 H _B 180 ~ 220	0.20	0.35	0.18	0.28	0.13	0.20	0.10	0.18	0.06	0.10	0.06	0.10
	強韌 H _B 220 ~ 300	0.15	0.30	0.13	0.25	0.10	0.18	0.08	0.15	0.05	0.10	0.05	0.06
	硬 H _B 300 ~ 400	0.10	0.25	0.08	0.20	0.08	0.15	0.06	0.13	0.05	0.08	0.06	0.06
	不銹鋼	0.15	0.25	0.13	0.20	0.10	0.15	0.08	0.13	0.06	0.08	0.06	0.06

HS: 高速鋼銑刀, C: 碳化物銑刀

表 3 刃對等銑刀進給

CNC 綜合中心切削加工機裡所設計的程式其實決定了實驗的成敗，本組故設計出一個程式來得到順銑與逆銑的刀具路徑，並且為了方便我們寫出一個 MACRO 副程式，只要改變主程式中的參數，來讓主

程式進行不同條件下的相同路徑以免人為的疏失造成實驗更多的變數。

CNC 程式內容如下：

O1112(MAIN)

G91 G28 Z0 ;

G28 X0 Y0 ;

M03 S1200 ;

G92 X__ Y__ Z__ ;

G90 G00 X-20. Y-20. Z5. ;

Z-16.

G01 X0 Y0.5 D01 ;

X60. ;

Y49.5 ;

X-5. ;

G00 X-20. Y0. ;

G65 P1113 A__B__ C__ I__ ; “順銑使用的程式”

(G65 P1114 A__B__ C__ I__ ; “逆銑使用的程式”)

G91 G28 Z0. ;

G90 G00 Z0. Y0. ;

M30 ;

副程式 巨集指令

O1113(SUB1)

S#1 F#3 ;

G00 G41 X-15. Y[49.5-#2] D01;

Z[-#4] ;

G01 X52. ;

G01 X-5. ;

G00 G40 X-20. Y10. ;

M99 ;

O1114(SUB2)

S#1 F#3 ;

G00 G42 X-15. Y[0.5+#2] D01 ;

Z[-#4] ;

G01 X52. ;

G00 Y[49.5-#2] ;

G01 X-15. ;

G00 G40 X-20. Y-50. ;

M99 ;

5-3 實驗進行

本實驗採用直交表來處理實驗中的數據，直交表實驗的目的是利用所取得的實驗數據，來建構一個數學模式（譬如一個多項式函數），這個數學模式可以用來預測任何控制因子組合下（包括最佳的組合）的反應值，而確認實驗的目的是在證實這個數學模式的合理性。從這種較嚴謹的觀點來解釋直交表實驗比較能得到一個清晰的觀念，也有助於進階的討論。

首先將外型銑成 $48 \times 48\text{mm}$ 然後再進行順銑與逆銑兩種銑刀行程，其成品圖如圖 9 其所得，將銑削後的工件拿到精密量測實驗室進行測量，將測量出來的數據整理成表格並化成圖表進行比較與對照。

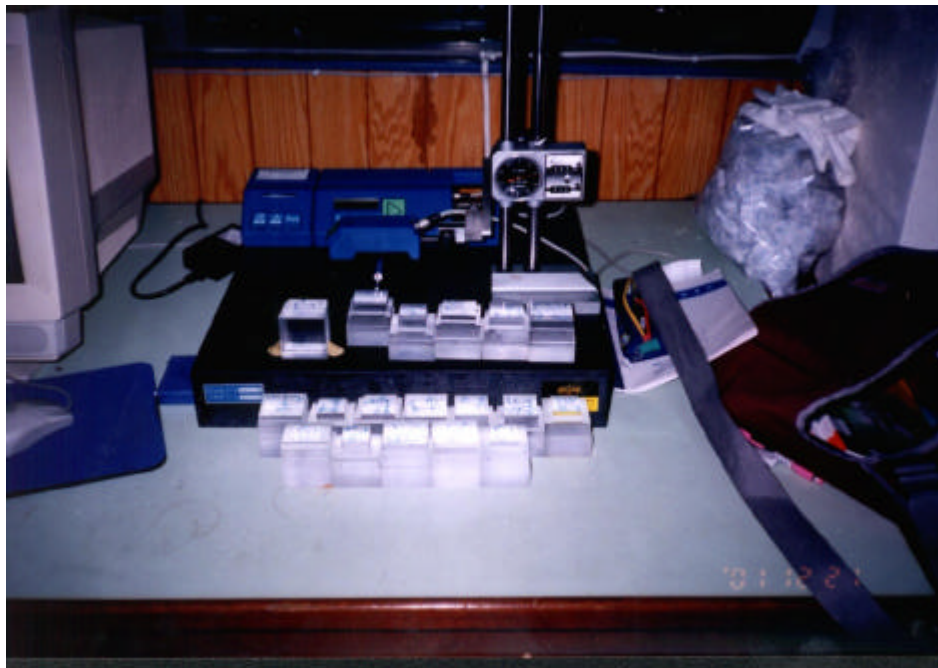


圖 9

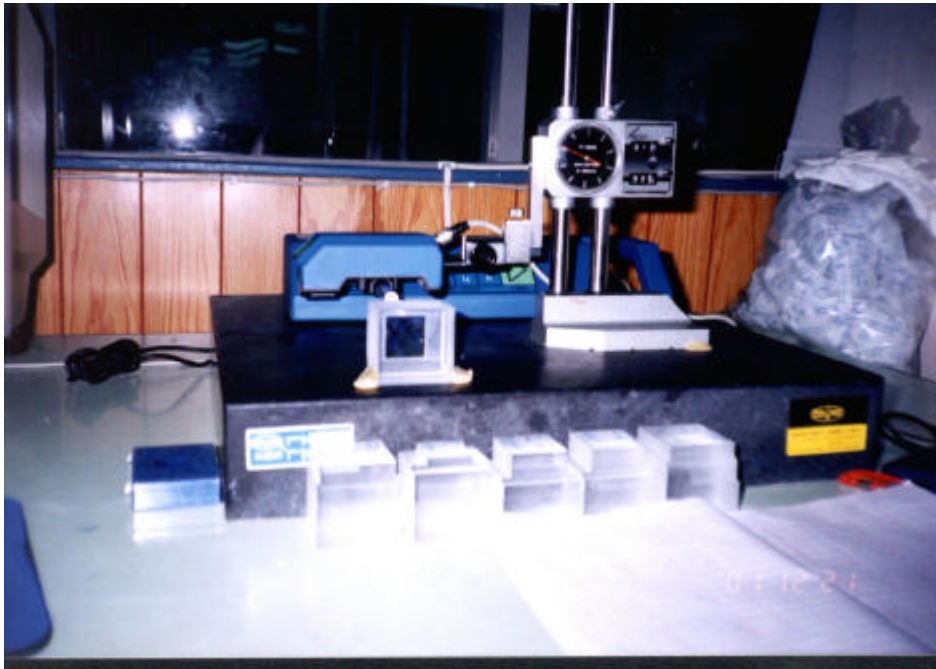


圖 10

Run	1 銑刀方 向	2 銑刀直 徑	3 轉數	4 切削深度	5 進給率	6 接觸長度
1	順銑	10mm	600rpm	4mm	75mm/min	5mm
2	順銑	10mm	1200rpm	7mm	125mm/min	10mm
3	順銑	10mm	1800rpm	10mm	175mm/min	15mm
4	順銑	16mm	600rpm	4mm	125mm/min	10mm
5	順銑	16mm	1200rpm	7mm	175mm/min	15mm
6	順銑	16mm	1800rpm	10mm	75mm/min	5mm

7	順銑	20mm	600rpm	7mm	75mm/min	15mm
8	順銑	20mm	1200rpm	10mm	125mm/min	5mm
9	逆銑	20mm	1800rpm	4mm	175mm/min	10mm
10	逆銑	10mm	600rpm	10mm	175mm/min	10mm
11	逆銑	10mm	1200rpm	4mm	75mm/min	15mm
12	逆銑	10mm	1800rpm	7mm	125mm/min	5mm
13	逆銑	16mm	600rpm	7mm	175mm/min	5mm
14	逆銑	16mm	1200rpm	10mm	75mm/min	10mm
15	逆銑	16mm	1800rpm	4mm	125mm/min	15mm
16	逆銑	20mm	600rpm	10mm	125mm/min	15mm
17	逆銑	20mm	1200rpm	4mm	175mm/min	5mm
18	逆銑	20mm	1800rpm	7mm	75mm/min	10mm

表 4 L18-直交表

Run	1 銑刀方 向	2 銑刀直 徑	3 轉數	4 切削深度	5 進給率	6 接觸長度	7 理論表 面粗糙 度	8 實際量 測粗糙 度
1	順銑	10mm	600rpm	4mm	75mm/min	5mm	8.31 μ m	8.80 μ m
2	順銑	10mm	1200rpm	7mm	125mm/min	10mm	6.32 μ m	8.25 μ m
3	順銑	10mm	1800rpm	10mm	175mm/min	15mm	5.00 μ m	6.34 μ m
4	順銑	16mm	600rpm	4mm	125mm/min	10mm	22.33 μ m	29.11 μ m
5	順銑	16mm	1200rpm	7mm	175mm/min	15mm	24.32 μ m	28.11 μ m

6	順銑	16mm	1800rpm	10mm	75mm/min	5mm	44.23 μ m	49.76 μ m
7	順銑	20mm	600rpm	7mm	75mm/min	15mm	1.2 μ m	1.73 μ m
8	順銑	20mm	1200rpm	10mm	125mm/min	5mm	2.43 μ m	2.43 μ m
9	逆銑	20mm	1800rpm	4mm	175mm/min	10mm	2.12 μ m	2.84 μ m
10	逆銑	10mm	600rpm	10mm	175mm/min	10mm	6.59 μ m	7.05 μ m
11	逆銑	10mm	1200rpm	4mm	75mm/min	15mm	11.23 μ m	15.26 μ m
12	逆銑	10mm	1800rpm	7mm	125mm/min	5mm	5.26 μ m	6.51 μ m
13	逆銑	16mm	600rpm	7mm	175mm/min	5mm	20.3 μ m	26.94 μ m
14	逆銑	16mm	1200rpm	10mm	75mm/min	10mm	33.35 μ m	39.59 μ m
15	逆銑	16mm	1800rpm	4mm	125mm/min	15mm	21.36 μ m	22.40 μ m
16	逆銑	20mm	600rpm	10mm	125mm/min	15mm	5.36 μ m	6.32 μ m
17	逆銑	20mm	1200rpm	4mm	175mm/min	5mm	2.02 μ m	2.89 μ m
18	逆銑	20mm	1800rpm	7mm	75mm/min	10mm	2.22 μ m	2.68 μ m

表 5 理論與量測數值比較

我們將實驗數值之參考 輸入最大理論表面粗糙度軟體，所得如表所示。由表 5-3-2 可知，誤差最大是 13 組，其原因可能為應與在理論推導時沒有思考刀具加工時之撓曲與床受力震動等因素。

但理論與實驗之值其趨勢仍相當一致，表示本理論與推導程式尚稱正確。

5-4 實驗探討

我們在實驗過程中發現，一開始所設定的低碳鋼與鋁塊的銑削進給率對於銑刀而言有著太過巨大負荷力，在進行第三號鐵塊的銑削時，因為這時的近給率條件已經過大，導致本組一開始進行鐵塊的銑削時，就將銑刀弄斷，讓實驗因為刀具的補充問題 停滯了一段時間，在實驗過程中犯了許多因為對機台不熟悉，所造成的失誤，甚至因為忘記回機械原點，讓銑刀撞擊到虎鉗。

我們在實驗中從材料的選擇，就很明顯的發現到壓克力的銑削比鐵塊與鋁塊來的容易進行，所以我們先將壓克力加工完畢並進行表面粗糙度的量測，但是當我們進行到鋁塊的時候發現銑刀會沾黏到鋁屑而且十分的難以清除，當我們使用鐵塊進行實驗的時候，刀具負荷過大，所以刀具又斷了，再不斷的嚐試以及與專題老師經過討論，決定先將壓克力的成品先進行實驗並製成圖表以茲參考。

第六章 結果與討論

其加工後所量測的數據如下，本組使用 WinRobust [8] 因子回應圖與回應表將上述數據製成圖表可看出對 R_{max} 有較好影響之參考數據為銑削方向為順銑，銑刀直徑為 10mm 轉速 1200rpm，切削甚度為 4mm 進給率為 75mm/min 接觸長度為 5mm

由圖 11 數據中可知，與一般之加工經驗相同 即使用大直徑刀具、適當轉數、小切削、小進給，小接觸長度時可使表面粗糙度較好。

Factor	Level	Rmax (ave)	Rmax (s/n)
銑削方向	順銑	15.26	-18.94
	逆銑	14.40	-20.18
銑刀直徑	10mm	8.70	-18.98
	16mm	32.65	-30.01
	20mm	3.15	-9.69
轉數	600mm	13.32	-19.60
	1200mm	16.09	-20.37
	1800mm	15.09	-18.71
切削深度	4mm	13.55	-20.16
	7mm	12.37	-17.83
	10mm	18.58	-20.69
進給率	75mm/min	19.64	-20.87
	125mm/min	12.50	-19.48
	175mm/min	12.36	-18.33
接觸長度	5mm	16.22	-19.43
	10mm	14.92	-19.34
	15mm	13.36	-19.91

圖 11

Factor	Rmax-S/N			
	SS	d.o.f.	mean sq	F
銑刀直徑	1241.73	2	620.86	30.3
切削深度	27.79	2	13.90	—
進給率	19.43	2	9.72	—
銑削方向	6.96	1	6.96	—
轉數	8.33	2	4.16	—
接觸長度	1.14	2	0.57	—
error	82.06	4	20.52	

圖 12

Parameter	Adjustment	Response	Pred Ave	Pred S/N(CI)
<input checked="" type="checkbox"/> 銑削方向	 順銑	Rmax	-1.02	-5.03dB(13.6)
<input checked="" type="checkbox"/> 銑刀直徑	 20mm			
<input checked="" type="checkbox"/> 轉數	 1800mm			
<input checked="" type="checkbox"/> 切削深度	 7mm			
<input checked="" type="checkbox"/> 進給率	 175mm/min			
<input checked="" type="checkbox"/> 接觸長度	 10mm			

圖 13

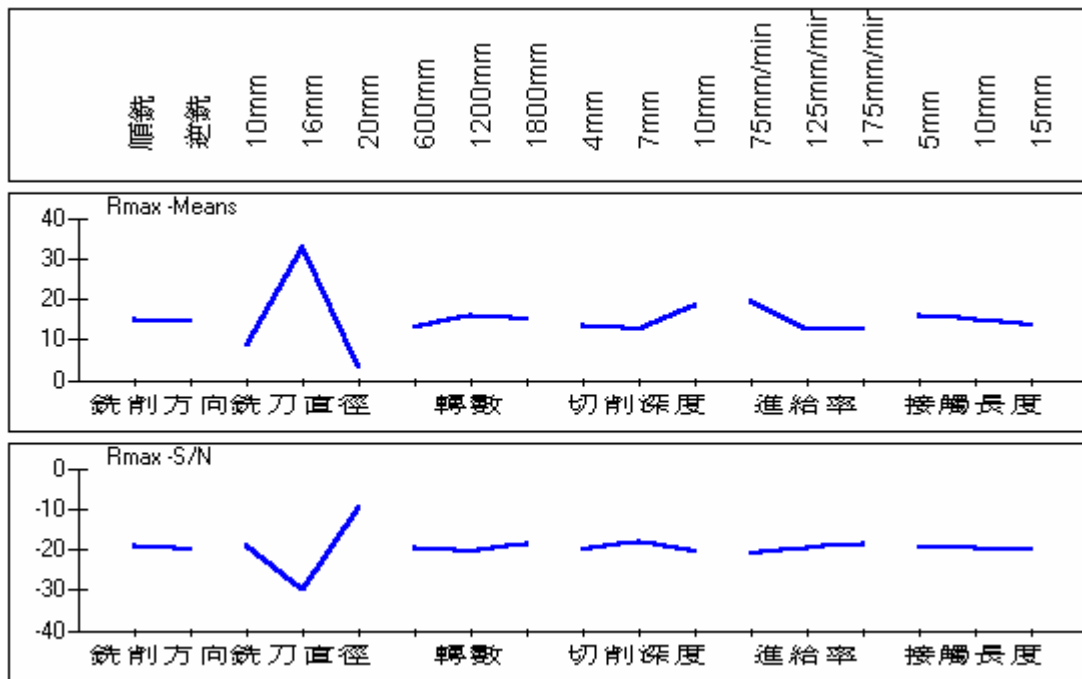


圖 14

第七章 結論

本組在順逆銑加工之探討中，所得之成果如下

1. 刀具運動路徑軌跡曲線來推導出理論的最大高度表面粗糙度，並用 VB 來建立理論的最大高度表面粗糙度軟體。
2. 在實驗方面則以田口方法來進行實驗設計，以齒數、銑刀半徑、轉數、進給率、切削深度、接觸長度等為參數，以 L18 表來進行實驗加工。

本組經一年之探討，所得之討論如下：

1. 順逆銑方向在理論與實驗中顯示出對表面粗糙度的確有影響。
2. 在加工參數方面，本組發現進給率在理論表面粗糙度中沒有影響，但在加工實驗中之數據確顯示確切有影響，其原因應與在理論推導

時沒有思考刀具加工時之撓曲與床受力震動等因素。

未來可將本理論表面粗糙度程式加入刀具撓曲、床台震動等因素的考量使其更加完善。

參考文獻

- [1]. 王俊智, "端銑加工刀具及表面誤差分析撓曲", 中國機械工程學會第十三屆全國學術研討會論文集, 製造, P144~P200, 1996.11
- [2]. Tlusty, J. and Elbestawi, M., "Constraints in Adaptive Control with Flexible End Mills," *Annals of the CIRP*, Vol.28, No.1, pp.253-255. 1979.
- [3]. "Accuracy of Milled Surfaces 1-Effect of Cutter Diameter、 Number of Teeth、 Runout and Feed," *Metal Cuttings*, Vol.9, no.1, p.2, 1961
- [4]. "Accuracy of Milled Surfaces 2-Effect of End Mill Deflection," *Metal Cuttings* Vol.9, no.2, p.2, 1961
- [5]. 范光照, 張郭益, 精密量測, pp205~pp211, 1997 初版
- [6]. 王國榮 Visual Basic 6.0 旗標出版社 1998.6月

[7]. 李輝煌 田口方法 高立圖書有限公司

[8]. WinRobust Lite Version 0.97 February 19,1995 (c)Copyright Abacus

Digital 1993,1994,1995 All right Reserved