

汽缸壁拋光專用機之研發與製作 – 以夾治具與進給機構為例

黎文龍¹、彭建斌²

¹ 台北科技大學機電整合所教授

² 台北科技大學機電整合所研究生

摘要

本研究係以創新設計的手法，結合了系統化之設計模式，主要目的為滿足廠商之需求，為其設計開發一台小型割草機用汽缸內壁拋光加工之專用工具機。創新設計過程中，建立一套設計流程，其能縮短設計開發之時程，進而降低成本及提高工作效率，減少經驗不足對設計工作所造成的影響，來追求完善之產品品質。整系統的設計規劃可區分為變速箱、機身、往復運動、夾具、控制、調整等多個子系統。因設計規劃將整系統之設計研究分成兩部份進行，第一部分為變速箱子系統之具體設計開發，此一部份已完成；第二部份則為本文設計研究的重點，將著重在於機架、往復運動、夾具、控制、調整具等子系統的具體設計開發，進而產出實驗用之原型機。最後，於變速箱子系統整合，經由跑合測試，證實整機符合原訂之設計目標及規範。

關鍵字：設計程序、創新設計、工具機、拋光

1. 前言

基於業界廠商之需求，而該廠目前主要是從事小型汽缸體製程中，汽缸內壁做表面電鍍硬鉻(Cr)層，一年約可處理 200 萬個汽缸體，因汽缸體經壓鑄及機械加工後，汽缸體內孔並不真圓及表面粗造度等問題，電鍍之後需再進行拋光(polishing)加工，而該廠拋光加工部份是採外包的方式，但由於電鍍製品之品質並不穩定，容易造成鍍層有過厚的現象，往往需再進行退鍍，造成時間以及成本上的增加。有鑑於此，廠商希望能降低成本提高利潤與製程向後整合，希望擁有拋光加工之設備。本研究直接對應需求，並針對該廠最大量 25 C.C.與 30 C.C.之汽缸體為主要設計加工對象，如圖 1 為 25 C.C.之汽缸體，圖 2 為 30 C.C.之汽缸體。甚至更進一步利用磨除(grinding)加工的方式處理鍍層過厚的現象，來降低成本與提高工作效率。

本研究直接對應廠商之需求，為其設計開發新的產品，亦屬於設備創新研發之範疇。而一個創新產品成敗的關鍵，除了在性能上須滿足產品的需求外，也需要能夠及時的投入市場並降低成本提升競爭力，因此，能妥善地安排與掌握完成此項設計所需工作之次序、時程以及相關的成本變地格外的重要。故正式

進入設計之前，將觀察現有關於「設計程序」及「系統化之設計模式」的相關研究，如 French[1]、Pahl & Betiz[2]、VDI2221[3]等設計模式，觀察後發現，產品開發流程主要可分成確認需求、規劃設計活動、訂定設計規範、構想設計、具體設計及製造產品等程序。由此，延伸出本研究之創新設計流程，如圖 3 所示。



圖 1 經電鍍後、未拋光處理前之 25 C.C.汽缸體



圖 2 經機械加工後、未電鍍前之 30 C.C.汽缸體

2. 確認設計任務

2.1 問題解析

一般割草機用之汽缸材質為鋁合金或鐵，是經由鑄造法鑄造而成。其中，用於汽缸體之鑄造常見為壓鑄法(Die Casting)或翻沙鑄模法，成形之後再經由機械加工、電鍍以及拋光等[4]製程，製作加工流程說明如下：

(1) 機械加工：製品由於經過壓造、鍛造、壓鑄等工程，因此為了去除其加工所形成的垢或鏽，以及使其表面平滑，故必須研磨(grinding)。研磨的方法，依製品的材質、大小、形狀、精度等，而有機械、化學、電解等方法。

(2) 電鍍：一般汽缸體主要是電鍍工業用鍍硬鉻，目的是用來提高鍍層的抗熱性、耐磨、抗蝕和低摩擦係數，故其鍍層較厚，厚度約 5 μ 至 0.1mm，但較適宜之厚度以 20 μ m 至 50 μ m 為宜，電鍍後其表面硬度可達 HRC70[4]。另外，電鍍後表面不得有侵蝕孔。如圖 4 (a)為電鍍後之瑕疵。

(3) 拋光：金屬物件在電鍍後，需用機械或電力將其表面加以磨光或拋光，使被鍍物件上之鐵鏽、污穢、毛刺等除去，而使被鍍金屬表面光滑、附著力增強及增加光澤[5]。研磨與拋光(polishing)之間的差別，在於研磨加工會削除工件表面層些許的材料以得到平滑的表面，拋光加工則不會消除過多之材料，而只是將表面之溝槽紋路以及不平之斑痕等勻平而達到光滑之效果。機械式拋光一般去除金屬厚度約小於0.4 μm ，大於則先用研磨。一般電鍍鉻之拋光圓周轉速約30~35 m/s (1800~2100 m/min)[4]，將其換算成轉速約為19000 rpm。拋光輪常用毛氈(Felt)、軟質布料或皮革(Leather)等為素材製成，使用時配合適當之拋光劑即可。

- 真直度(Straightness)須小於 10 μm 內誤差
- 真圓度(Roundness)須小於 15 μm 內誤差
- 鍍層厚度不得過厚(不得大於 15~20 μm)
- 拋光後不得有剝落現象，如圖 4 (b)
- 表面粗糙度介於搪磨(honing)與研磨(lapping)之間 [6]，約為 Ra (中心線平均粗糙度) 0.8 以下

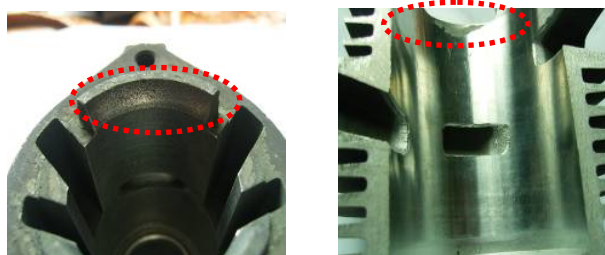


圖 4 汽缸製程之問題：(a) 退鍍後之侵蝕孔、及(b) 鍍層剝落

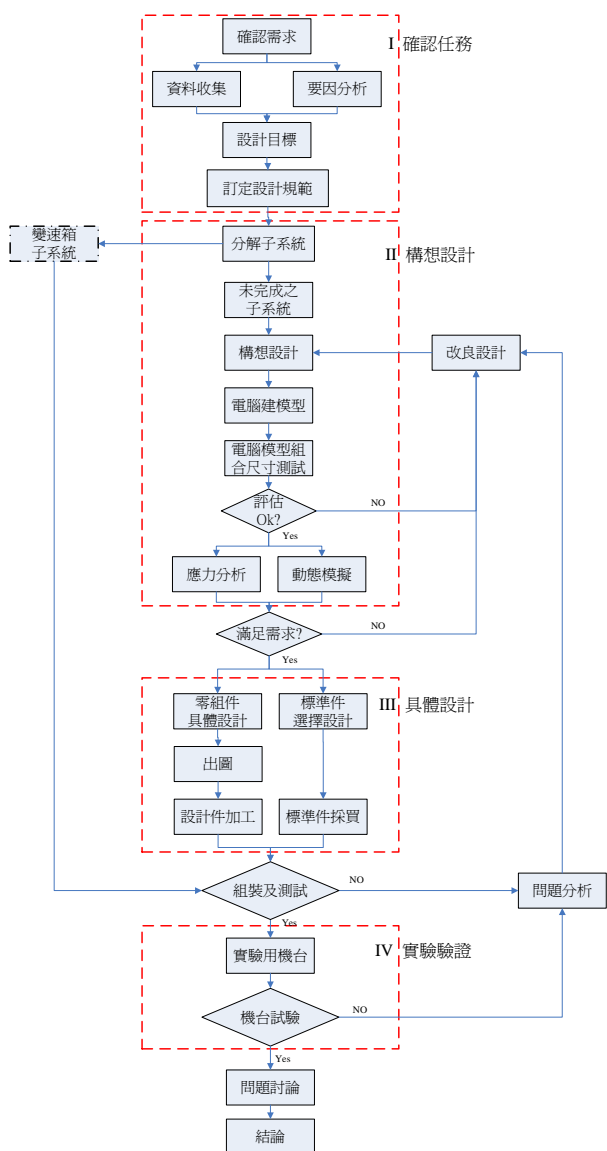


圖 3 設計研究流程圖

(4) 成品之加工規範要求：經拋光加工後，量測時須滿足以下條件：

2.2 要因分析

根據前面拋光技術原理探討之剖析，歸納出完成拋光加工之魚骨圖，如圖 5 所示。基於設備研發之角度，影響拋光加工之因素歸類有：操作員、拋光機本身性能、拋光工具、環境、加工條件與汽缸體電鍍之結果等。

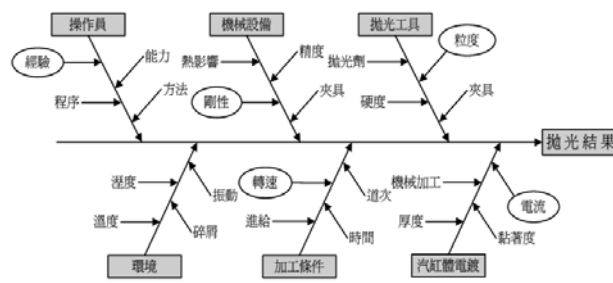


圖 5 拋光加工要因分析圖

2.3 設計目標與規範

在正式進入設計之前，除應滿足成品之加工規範外，也將根據上述之需求與相關理論做進一步的剖析，並訂定設計目標及規範，目的除了能減少設計錯誤，還能加速設計構想的產生。目標分析整理如下：

- 設備自動化：需大量加工製造，若能導入自動化製程，將能提升產品製造之效率。
- 高速主軸：電鍍鉻之拋光加工理論轉速約 19000 rpm，本研究基於首次開發，將主軸轉速略降為 12000 rpm，同時也考慮到未來可以加速的問題。
- 穩定性及效率：盡可能設計成對稱之形狀，可減少機台的不穩定，並利用雙軸同時加工之方式，提高加工效率。

- 特製夾治具：主要針對該廠最大加工量 25 C.C.及 30 C.C.之汽缸體為主要加工之對象，需設計特製容易替換之夾治具。
- 低成本限制：應盡可能使用標準零組件，因此簡化系統設計程序，更可減少設計錯誤及特製品之製作成本及生產時間，增加系統維修零件的機動性。
- 維修及保養：整機需模組化，拆解及組裝的動作、程序越少越好，使維修及保養容易。
- 綜合加工：除了進行拋光加工外，更進一步利用磨除加工的方式，解決電鍍品質不穩定造成鍍層過厚的現象。

3. 創新設計

3.1 設計之思考程序

整系統構想思維之程序是先將設計問題解剖、分解成許多可以掌握的子系統(sub-systems)解，再針對各個子系統以設計方法或技巧等依其作動之方式，找尋可行的機構或原理，組合產生多個可能解，並以決策、評估等的方式，找出各個子系統的最佳解，最後整合這些局部之最佳解，以成為整個設計問題的最終結果。其中，各子系統是依據整系統之功能架構(functional structure)[7]，依功能性分解架構，並以設計的輸入條件與輸出功能間以方塊圖表示，如圖 6 所示。

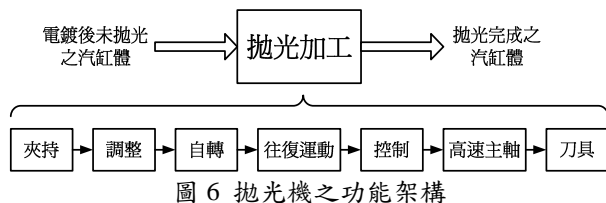


圖 6 拋光機之功能架構

3.2 設計構想

為清楚說明名詞與子系統之分解，因此先將構想之結果呈現於本小節，後續才說明其構想過程與結果。拋光機之整體設計如圖 7 所示，各子系統之介紹如下：

- 變速箱單元：實現主軸旋轉之運動，為加工運作之核心，主軸轉速需高達 12000 rpm，並且有變速之機制，可以安裝加工工具於其軸上，如圖示之 A。
- 機架單元：機器之本體，為提供堅強且穩固的基礎。另外，機柱同時兼具工作平台導引作直線運動的功能，如圖示之 B。
- 往復運動單元：實現上下往復之運動，使工作平台可以上下平移往復之功能，如圖示之 C。
- 調整單元：實現夾治具可以調整移動至加工位置的系統，並限制只能做單方向之位移，如圖示之 D。
- 夾具單元：實現夾持汽缸體之運動，為汽缸體夾持之工具。另外，其須兼具自轉之運動，如圖示之 E。

- 自轉單元：實現自轉之運動，利用相對運動來提高拋光速率，其附於夾具單元，如圖示之 F。

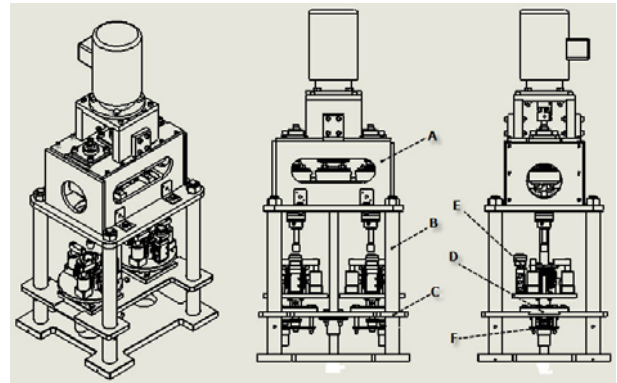


圖 7 拋光機之設計構想

3.3 設計範疇

由功能架構歸納出拋光機設計之子系統，如圖 7 所示。整系統的設計規劃可區分為變速箱、機身、往復運動、夾具、調整、自轉等六大子系統。其中，本研究因設計工作分配，將設計開發分成兩部份進行，第一部分由學長針對拋光機變速箱子系統的部份做設計開發，因汽缸體拋光表面時需要高速之加工主軸，算是整系統設計之一大關鍵；第二部份則是此論文主要研究之範疇，主要針對未完成之系統：機架、往復運動、夾具、調整、自轉等子系統單元進行設計開發，最後與已完成之變速箱子系統做整合，進而產出實驗用之原型機。

3.4 變速箱子系統之回顧

因本研究設計產出之最終結果必須與以具體開發完成之變速箱子系統做整合，在此將簡述有關變速箱之具體設計，詳細設計內容可參閱[8]。動力源為三相 220V 之 1/2 HP 感應馬達，連結方式經由聯軸器以直結之方式將動力傳達至驅動軸，再經由定時皮帶與定時皮帶輪傳動至兩加工軸，軸上搭載兩種不同之定時皮帶輪，故有兩種轉速可供切換，為 140 齒與 40 齒搭配可達 11970 rpm，而另一轉速為傳 140 齒與 60 齒搭配可達 7980 rpm。兩加工軸間距為 213.8 mm，直徑各為 15 mm，組裝後重量約 60 kg。圖 8 為實際產出之變速箱原型。



圖 8 (a) 變速箱內部原型 (b) 變速箱組裝完成之原型

3.5 範疇之子系統構想設計

3.5.1 機架單元

工具機之機身及機架結構主要在於提供一堅強且穩固的基礎，以承受靜態與動態負荷。觀察目前工具機之機身外型，並整理如圖 9 所示。經評估後可行性方案有三：立式，其優點為無重力引起之動不平衡問題，自動化生產設計較容易；臥式，其優點為往復運動無重力之影響；傾斜立式，其優點為可使用小扭矩之馬達來降低成本，但設計較為困難。因需整合已完成之變速箱子系統，經考量下認為立式是較適合之設計解。由立式又可延伸出其他目前常見之立式機型，為滿足設計前所訂定之規範，認為機柱型立式為機身單元之最佳解，因其製造成本較低，且組裝及拆解也容易。

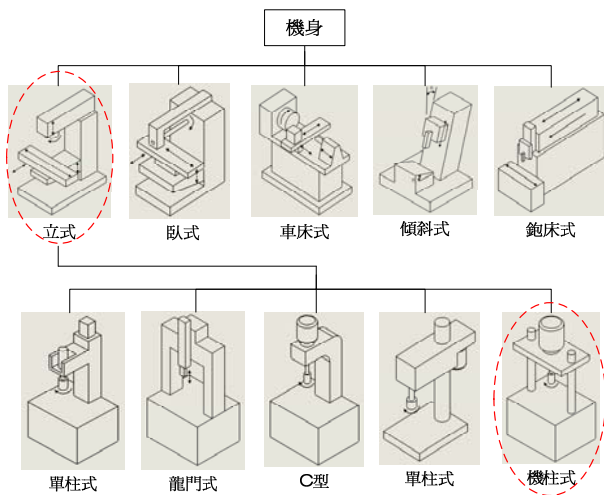


圖 9 機身外型[9]

機架子系統構想由下平板與四根機柱支撐上平板所組成，如圖 10 所示。上下平板與機柱間構想利用階級之幾何外型來支撐固定，上平板裝入後直接用螺帽與機柱鎖固。另外，考慮到產出之零組件的重量，將認為較不需要的部份除去，以減輕加工及組裝的困難度。

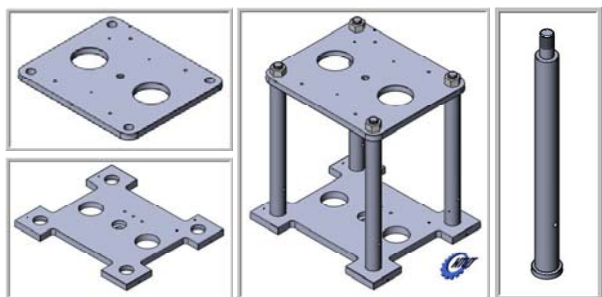


圖 10 機身單元之構想

3.5.2 往復運動單元

此單元亦為進給單元，一般機械工件加工進給方式有兩種：1. 刀具主軸固定不動，由工件進給，如：銑床、車床等。2. 工件固定不動，由刀具主軸進給，如鑽床。因已開發完成之變速箱子系統組裝後重量約為 60 kg，要使其穩定進給並不容易，故將以第一種方式，也就是變速箱固定不動，由工件置於平台上進給的方式來產生構想。另外，設計目標是希望能以自動化的方式加工，故將控制平台做來回往復加工，往復進給系統的作動方式主要是直線運動，由此限制產生多個直線運動機構的可能解後，經決策評估認為移動準確、安裝容易及製作成本低之螺桿與導桿式為最佳解。此構想是由螺桿配合螺桿襯套並鎖固於往復平台，且機柱兼導桿的功能限制其運動方向，由迴轉運動轉為直線運動，螺桿的動力源為馬達，並構想利用上下兩個極限開關，來控制馬達以實現往復運動，如圖 11 所示。

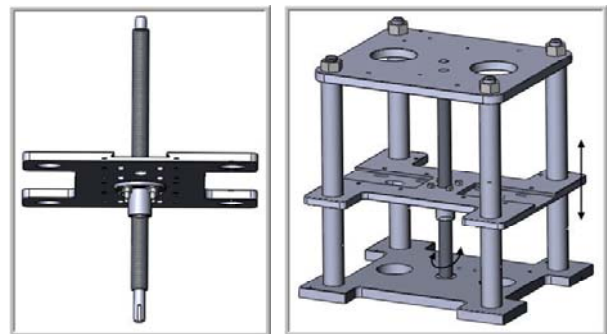


圖 11 往復單元之構想

3.5.3 調整單元

因各個汽缸體經電鍍後，其生成鍍層厚度不同，使內徑之尺寸並不均一，導致汽缸體拋光加工的深度也不相同。有鑑於此，需設計構想夾治具可以調整移動至加工位置的系統，並限制只能做 X-軸單方向的位移。在多個可能解中，決定使用鳩尾槽及鳩尾座的構想，因其構造簡單、需要的零組件少，利用鳩尾槽之幾何外型限制鳩尾座只能做單方向的位移，並將此構想直接坐落於往復平台上，以節省空間及成本。並以刀具與汽缸體內徑圓之同心點設為原點或歸零位置，調整至加工位置，如圖 12 所示。

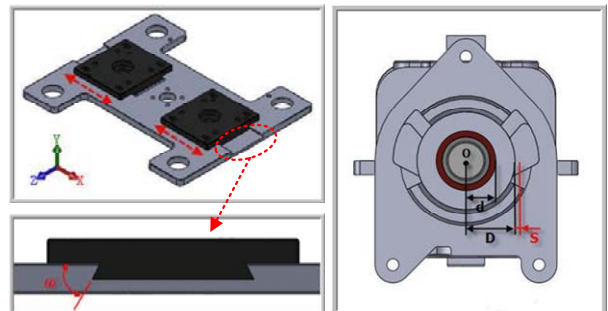


圖 12 調整單元之構想

3.5.4 夾具單元

依設計目標及規範，將針對最大加工量 25 C.C. 及 30 C.C. 之汽缸體，設計專用且能快速替換之夾治具。另外，將導入自動化夾持之構想，但礙於成本的考量，決定先以人工取料、填料、夾治具快速夾持的半自動化來實現。因經壓鑄後之汽缸體外型並不均一，不適宜使用面接觸的方式來固定工件，故構想由圓柱配置於夾具平台，以點線接觸限制汽缸體不可任意移動及轉動，且圓立柱可快速調至兩種規格之汽缸體的位置，並設置定位錐，使工件能快速定位。夾持之元件是使用現有標準品「氣壓轉角缸」，進排氣時會迴轉 90 度壓放，並以三點夾持的方式配置在圓盤上來實現快速夾持的構想，如圖 12 所示。

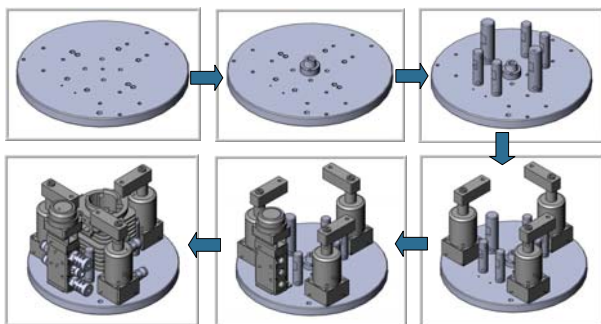


圖 12 夾具單元之構想

氣壓管線配置之構想，如圖 13 所示，是希望將所有元件配置於夾具盤上，但圓盤上之空間有限，且夾具盤必須自轉等限制，決定將夾具盤利用連結桿架起來，連結桿內鑽有傳遞氣壓的孔，並於夾具盤與連結桿適當位置安裝一個直立接頭，供氣壓傳遞至圓盤上之機械閥。氣壓經由氣壓調理組過濾水氣後，透過機械閥開關的控制，將氣壓傳至三個位置之轉角缸，因氣壓缸進排氣的特性，分別利用各三個三通接頭將轉角缸串聯起來，而串連之結果並不影響最後下壓之壓力。排氣則傳回機械閥，藉由消音管排放於大氣之中。

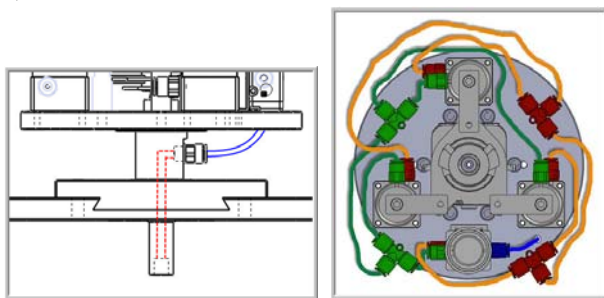


圖 13 管線配置構想

3.5.2 自轉單元

拋光加工的方式構想由刀具接觸汽缸體的一側，如圖 14 所示。當刀具高速轉動下，工件也必須做迴轉運動，並藉由往復運動的進給，這樣才能夠加

工到整個汽缸體的內徑。動力傳遞的方式，因氣壓裝置的規劃，無法使用馬達直結的方式連結。因此，構想利用齒輪，並以 1:1 的轉速傳遞動力，使工件被夾持且自轉。

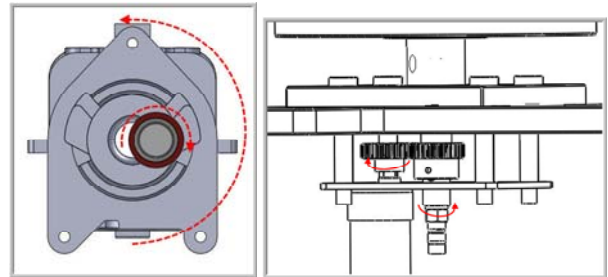


圖 14 自轉單元之構想

3.6 具體設計

3.6.1 標準件之選用設計

- 往復平台之動力源：決定動力傳遞之相關能量計算，經過解析計算後，選用 AC110V 輸出 40W 之感應馬達，其扭矩為 3.9 kg-cm，最高轉速為 185 rpm。另外，還配置速度調整器，藉由調整電壓來控制馬達的轉速，用意是希望進給速度可以依加工需求調整。
 - 夾具自轉之動力源：經計算後，選用 DC12V 的感應小馬達，藉由轉換器將 DC 轉為 AC110 的電壓，使用時，同樣配置可調速功能。
 - 氣壓轉角缸：利用氣缸出力計算式推算，選擇使用缸徑 $\phi 25$ ，其使用壓力範圍為 1.5~9.5 kgf/cm²，迴轉行程為 11 mm/sec，下壓行程為 11 mm/sec。另外，因氣壓缸空間配置的關係，選擇兩個左轉及一個右轉的轉角缸。
 - 迴轉接頭：夾具與挖有氣壓孔之連結桿連結後，需轉動，所以需要一個可以同時迴轉的氣壓接頭，觀察現有接頭的標準品，發現現有的滾珠式快速接頭及 L 型迴轉接頭，可以滿足這樣的構想。最後，因 L 型迴轉接頭在迴轉作動時並不圓滑，決定使用快速接頭。
 - 標準零件：機械設備上的零件，鍵、銷、墊片、螺絲、螺帽及軸承等，皆使用現有且容易取得之標準品。
- ### 3.6.2 零組件之細部設計
- 公差與配合：往復平台是藉由導桿導引作直線運動，配合時，選擇餘隙配合與中級配合之間，使用 H7/g6。但為了避免產生過干涉的情形，造成平台無法順利作動，決定只選擇其中兩根導桿，使用上述之配合，其餘兩根則使用大於鬆配合之尺度。
 - 導桿之固定：導桿在裝入下平板後，仍然可以任意的轉動，為了防止導桿轉動，將在下平板側邊，設置止迴螺絲，來限制導桿運動，如圖 15(d)。

- 調整裝置：利用四根螺栓，配合特製套筒以螺帽鎖固，將鳩尾座與小馬達托架連成一體，並在平台上設計鳩尾座移動距離之長孔。當鳩尾座由歸零位置調整之加工位置後，直接利用螺栓鎖固在平台上。
- 變速箱之整合：變速箱之外箱底部設置銷來定位，將變速箱安置於上支撐平板後，利用角鋼將變速箱與上支撐平板連結鎖固在一起，如圖 15(b)。
- 車架：利用車架將拋光機架於操作員容易使用之高度，車架還設置固定方向及可 360°迴轉附煞車之輪子各兩個，來提高機械設備的機動性，車架內空間還可放置 2 HP 的空氣壓縮機。如圖 15(f)。
- 拋光工具單元：依文獻資料可知，拋光輪常用毛氈、軟質布料或皮革等為素材，因此構想利用 AB 膠直接將素材貼於圓柱型柄上。夾持刀具之夾頭部份，捨棄多零件組成的 ER 筒夾及螺帽的構想，直接利用市售現有品-三爪鑽頭夾頭，因其價格低、安裝容易且能快速替換刀具。

將各個構想設計所建立之 CAD 模型整合，並利用 CAD 軟體模擬組裝，檢查各單元是否有產生干涉的行為。當構想設計之草圖及絕大部分的技术資料確定後，便將各設計之零件轉換成加工所需之詳細設計圖，且必須標示出尺寸、公差、表面粗造度、材質及重量等。另外，為了方便組裝及維修保養之拆卸，繪製組合件之爆炸圖，可以清楚顯示所使用零件的相關位置和組裝順序。如圖 14 所示。

4.組裝及測試

4.1 組裝

將委外加工完成之零件與採買之標準件，依照 CAD 模擬組裝的方式及配合爆炸示圖，自己動手組裝，從做中學，畢竟電腦軟體模擬只能輔助，卻無法預估實際所會遇到的問題。當遇到問題，須冷靜思考可行的解決方案，並給予改善。圖 15 為產出之原型及部分的放大圖。

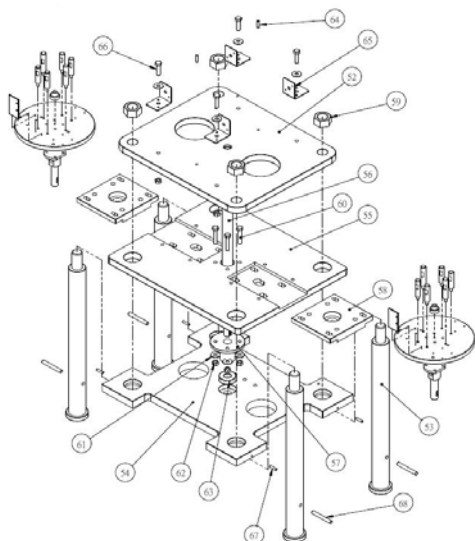


圖 14 組合件之爆炸圖

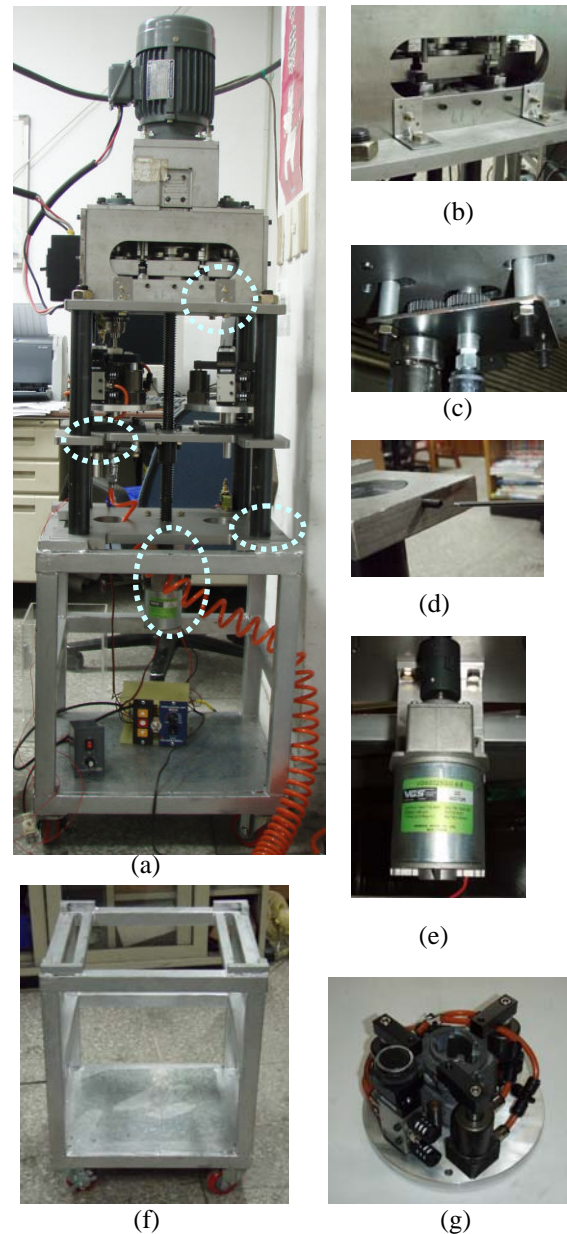


圖 15 自轉單元之構想

4.2 跑合測試與檢驗

安裝完成後，檢查各系統是否安裝正確及做運轉測試，對原型機所有重要特性做正確之量測，並取得實際之計量值，作為評估的依據。藉此檢驗之結果，除了可以改善原型機之相關性能外，同時可達到驗收拋光專用機之目的。如表 1 為原型機之驗收規劃及結果。

主軸運轉中，藉由軸承外圍的溫度變化情形來判斷軸承是否有異狀，溫度是否過高。利用非接觸式溫度計量取軸承座內環處之溫度，且利用轉速計量取轉速。測試結果：溫昇從室溫 27 °C 升至 60°C 左右，便趨於穩定狀態，相對溫昇約 30°C，平均轉速約 11757 rpm 及 7693 rpm。

表 1 原型機機能測試

項次	測試事項	測試方法	測試日期	測試結果
1	主軸之起動停止及運轉	以適當主軸轉速，起動及停止連續作10次，測試動作之圓滑性及確實性。	98.03.11	正常
2	主軸轉速之變換	變換主軸轉速，測試操作裝置之動作的圓滑性及確實性。	98.03.12	變換不易
3	旋轉工作台之起動停止及運轉	起動及停止旋轉平台，並連續作10次，測試動作之圓滑性及確實性。	98.03.22	正常
4	上下往復平台之起動	上下移動往復平台，測試其確實性。	98.03.17	正常
5	固定裝置之操作	各固定裝置分別固定於任意位置，測試其確實性。	98.03.29	正常
6	刀具之裝卸	刀具之替換裝卸，測試其確實性。	98.04.01	正常
7	控制裝置	控制裝置其控制之動作的確實性。	98.03.17	正常
8	安全裝置	測試對於操作人員之安全及機械防護機能之確實性。	98.04.03	待加強
9	潤滑裝置	測試密封之密封性及螺桿、導桿潤滑之確實性。	98.03.12	正常
10	氣壓裝置	測試氣壓密合、壓力調整等機能之確實性。	98.03.22	待加強
11	電器裝置	運轉測試之前後，分別測試其絕緣狀態者一次。	98.04.06	正常

5. 結論

本研究直接對應需求，設計一台專用機器設備“汽缸體拋光專用機”，並具體設計開發與製作原型，完成「創新設計」與「原型製作」。研究過程中，除提供完整之設計構想外，也有系統地提供專用機械設備之設計程序與發想程序、範例，從工程規範之訂定，達成所設定之規範，也適當地於過程中納入「發想」程序，從做中學，同時於動手組裝設計之原型後所發現之問題，提出問題之改良方案，檢討治具、工程圖、組裝問題等，並予以改善。原型機成果經跑合測試與檢驗後，評估符合原預期目標與工程規範。

6. 誌謝

感謝欣揚治具有限公司之零組件製作，謹致謝忱。

7. 參考文獻

1. French, M.J., Conceptual Design for Engineers, The Design Council, London, 1985.
2. Pahl, G. and Beitz, W., Engineering Design: A Systematic Approach, Springer, 1996.
3. VDI2221, Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, VDI.
4. 蘇癸陽編譯，實用電鍍理論與實際，台南市：復文書局，1990，第一章。
5. 張金全，電鍍工程學，台北市：五洲出版社，1976，第六章。
6. Serope Kalpakjian, Manufacturing engineering and technology, Addison-Wesley, 1995.
7. 黎文龍，工程設計與分析，東華書局，台北，2002，第八章。
8. 張東權，汽缸壁拋光專用機之設計與驗證研究，碩士論文，台北科技大學機電所，台北，2007。
9. 洪瑞斌、何祖璇，工具機，台北市：新科技書局，1994，第一章。

The Research and Development of Polishing Machine Applying to the Inner Wall of Cylinders – Using Fixture and Feed mechanism as an Example

Wen-Lung Li¹, Chien-Pin Peng²

¹ Professor, Department of Mechanical Engineering, NTUT.

² Postgraduate, Department of Mechanical Engineering, NTUT.

Abstract

The core of this research is innovated design combining the systematic model. In order to satisfy the need of manufactures and companies, the design a machine is for developing polishing the inner wall of the cylinder of small lawnmower. For perusing the quality of the product, the key process of this design was manly focusing on reducing the time of development, minimizing the cost, and further increasing the work efficiency. This design can be divided into several subsystems such as the power transmission unit, the structural frame unit, the reciprocation of motion unit, the fixture unit, the control unit, and the adjust unit. Also, the process can be divided into two parts. The first part was the development of the power transmission unit, and this part had been completed. The second part is the major focus of the whole research. Due to produce the experimental prototype, this part will be concentrating on the design of the structural frame unit, the reciprocation of motion unit, the fixture unit, the control unit, and the adjust unit. Finally, because of the integration of power transmission unit, this research has proved that the prototype has met the design goal and standards.

Keywords : Design Process, Innovation Design, Machine, Polishing