

電腦輔助模具設計製造之研究

蔡有藤^a 邱崇恩^b 李鈺開^b 黃霖琪^b 徐楷翔^b 粘進茂^b 羅逸杰^b

宏國德霖科技大學機械系^a 老師^b 學生

摘要

本研究整合電腦輔助設計與製造(CAD/CAM)技能，設計製造一教學用模具，模具設計技巧包括模具結構、設計考慮事項首先被介紹，提供模具設計所需知識；射出成形品用 SolidWorks 軟體設計，依據成形品設計公母模及相關零組件，經組合分析與干涉檢查，驗證設計正確性；進一步將模具 3D 模型導入 CAM 軟體，進行刀具路徑規劃與加工模擬，模擬無誤後產生 NC 碼，利用 CNC 銑床、傳統車床、銑床加工零件並組裝完成，研究結果顯示實體模型與設計相符並達成預期功能，透過 CAD/CAM 技術在模具設計製造之應用，提升精密加工實務技能。

關鍵字：模具設計、電腦輔助設計製造、實務技能

Research on Computer Aided Die Design and Manufacture

Y.T. Tsai C.E. Chios Y.K. Lee L.C. Huang K.H. Hsu J.M. Nien Y.C. Lo

Department of Mechanical Engineering, HungKuo Delin University of Technology

Abstract

This study integrates computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) skills to design and manufacture a teaching mold. Firstly, Mold design skills including mold structure and design considerations are introduced to provide the required knowledge of mold designing. The SolidWorks software is used to design the product of injection molding, and the male and female molds are designed accordingly. The accuracy of the design is identified through assembly analysis and interference checking. The 3D model of the mold is then imported into the CAM software for tool path planning and processing simulation including generating the NC codes. The NC codes are imported into CNC machines for processing the male-female molds and the related parts. The assembly of the parts shows that the physical mold is consistent with the design and achieves the expected function. The practical skills of precision machining can then be increased through the application of CAD/CAM technology in mold designing and manufacturing.

Keywords: mold design, CAD/CAM, practical skill

一、前言

「模具」被稱為機械工業之母，為大量生產與標準化的產品工具，具有快速生產、品質精良與生產價格低廉之特性。想要將產品以塑膠或金屬材料進行製品化時，首先要做的事就是製作模具，透過模具來模塑產品的外觀形狀。模具應用的範圍很廣，舉凡塑膠、橡膠、金屬、玻璃或礦物等材料經過高溫、高壓之過程而形成一定形狀之物件，皆需有模具來完成製作，一般日常用品、3C 產品、汽車零件等，皆可使用模具來生產製作，是現今產業界不可或缺的工具[1]。塑膠模具一般用於塑膠件成形，其原理利用粒狀的塑膠材料在射出成形機的加熱缸中加熱，形成熔融狀態，再利用射出機構將熔融材料由噴嘴射入模具中，待塑膠成品冷卻固化後再開模，最後由頂出機構將成品頂出，此為射出成形一個生產週期。

射出成形模具可分為好幾類，最基本的是二板式模具，模具主要結構分為固定側及可動側兩大部分，其零件主要包括安裝板、模板，導向零件、頂出零件及其他附屬零件等[2]，圖 1 顯示模具基本結構，內

容如下：(1) 母模固定板、(2) 母模、(3) 公模模仁、(4) 公模、(5) 承板、(6) 間隔腳座、(7) 公模固定板、(8) 導梢襯套、(9) 導梢、(10) 上頂出板、(11) 下頂出板、(12) 回位梢、(13) 注道抓梢、(14) 頂出梢、(15) 定位環、(16) 注道襯套。

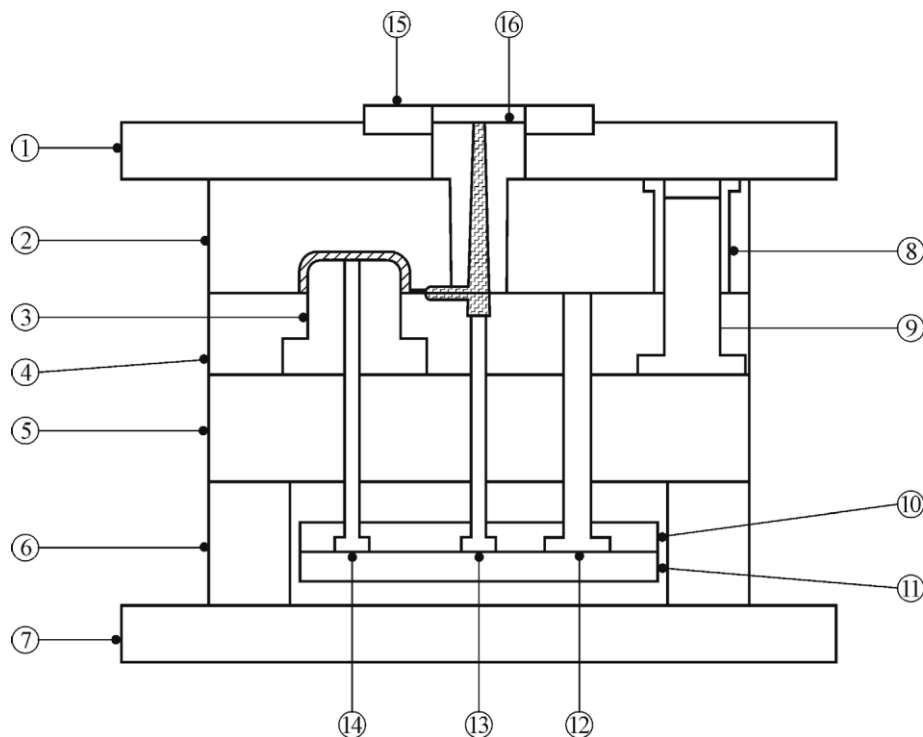


圖 1. 模具基本結構

由於電腦輔助設計與製造(CAD/CAM)的技術日新月異，設計資料逐漸數位化，電腦輔助設計與製造是近代工業相當重要的工具，它讓產品建模、設計、模具設計等開發過程均可採用電腦化技術，減少採用實物模型，大幅降低開發成本與時間浪費，提高產品的精度及品質，如文獻[3]利用 CAD 進行可靠度最佳化設計，文獻[4]整合 CAD 與 CAE 進行減速器設計與結構應力分析。CAD/CAM 技術取代傳統流程中較為繁複且必要的工作，提升了造形工作以及製造上的效率，設計時將成品形狀繪製成 3D 模型，讓設計者能將其設計理念以 3D 形式呈現於使用者，透過 3D 模型的呈現，讓使用者於設計模具時更有概念，清楚瞭解模具零件相關位置，進一步將 3D 模型導入 CAM 軟體，進行刀具路徑規劃，將刀具路徑轉換為加工用之 NC 碼，透過 CNC 工具機進行加工製造[5]。

本研究整合電腦輔助設計與製造(CAD/CAM)技能，可提供學生於電腦輔助模具設計與製造學習上之參考與應用，報導模具結構、設計考慮事項，利用 CAD 軟體設計射出成形品，據以設計模具，在導入 CAM 軟體進行模擬，利用 CNC 銑床、傳統車床、銑床加工，結果顯示實體模型與設計功能相符。

二、模具設計技巧

模具之設計原則是儘可能避免複雜之分模面及倒勾部分，以降低模具結構之複雜度，所以在產品設計時，在不影響產品外觀、尺寸、機能狀況下，謀求模具加工及組裝之便利性。在模具設計過程中，從剛開始零件模型，然後到整組模具設計完成，當中會經過相當多的重要的階段過程，先建出產品的 3D 模型，由拔模方向的判斷、分模線的選擇、分模面的建構，然後模具公、母模分離，將拆解的部分進行加工，完成後再依相關部分組合[6]，模具設計考慮要項如下：

1. 成形品收縮率

成形品自模具中取出時，成形品高溫時的尺寸與常溫時的尺寸差距，我們稱之為成形品收縮率。成形品之收縮率與塑膠原料種類、成形品形狀、射出成形條件等因數有關，但無論如何，只要會產生收縮現象，在製作模具時需考慮將成形品之收縮率而將模具尺寸放大製作才是。實際上射出廠或模具廠針對各種塑膠原料、成形品形狀、射出成形條件等皆已設定好相對應之成形品收縮率，所以在製作模具時，可以以下列簡便公式算出模具尺寸：

$$\text{模具尺寸} = (1 + \text{收縮率}) \times \text{實際尺寸}$$

收縮率大都以 1/1000 單位作為表示。如：成形品實際尺寸長度部分：300mm，塑膠原料：PC(聚碳酸酯)，收縮率：0.006，所以模具尺寸長度部分： $(1 + 0.006) \times 300 = 301.8\text{mm}$ 。

2. 分模面與分模線

成形品要能從模具中取出，必須打開公模與母模，而公模與母模的貼合面，我們稱之為分模面，一般來說，開模方向的視角來看分模線時，分模線應為成形品最大外圍輪廓線(如圖 2 所示之線段)。如果不是的話，代表成形品有倒勾的部分。分模線在模具設計上主要的目的為將產品分割成兩邊，分模線的形狀有可能是水平線或弧形線，在一般的兩板模具，其分模線的判斷條件為此分模線要能將產品分割成兩邊，分割後的表面依開模方向移動時不能有干涉產生。所以在模具設計過程上，要在產品上找出分模線是相當重要的一個步驟。

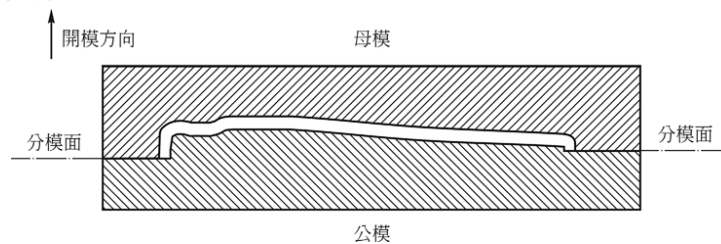


圖 2. 分模線

3. 脫模角度

為了使成形品容易自模具中取出，模具在開模方向的模穴面上，必須設定脫模角度(如圖 3 所示)，所以在成形品設計階段就必須考慮脫模角度問題。一般情況下，標準的脫模角度大概是 1 ~ 2 度，但是在要求高的尺寸精度時，可設定 0.5 ~ 0.25 度。

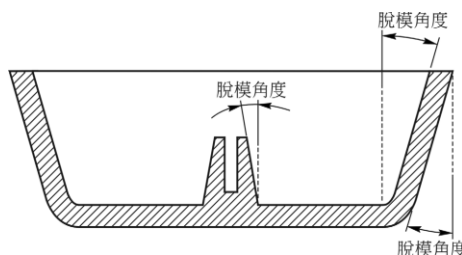


圖 3. 脫模角度

4. 孔洞

成形品上之孔洞是用作裝飾、通風、鎖固，或和其他零件裝配組裝用的。在模具上，這些孔洞的位置如同分模面一樣，公模與母模需貼合在一起，如此在射出成形時才會在成形品上留下這些孔洞，所以這些孔洞在模具上我們稱之為“靠破孔”。在設計孔洞時應避免有尖銳處，以免干擾成形塑料之流動，設計之基本原則為：(1). 母模部分伸長柱子與公模貼合，(2) 公模部分伸長柱子與母模貼合。靠破孔柱子的伸長方向需與開模方向平行重合，不可有角度，以免成形品脫模困難(如設計成滑塊形式則除外)。靠破孔部分為母模伸長柱子與公模貼合，且伸長方向與開模方向平行重合。

5.鑲嵌結構

將成形品主要形狀之模穴部分加工為一嵌件，在模板部分加工容納嵌件之凹槽，組裝模具時，將嵌件嵌入模板凹槽部分，並用螺栓加以鎖固，如圖 4 所示，將加工完成之公模模心放置於公模模板之凹槽內，並以螺栓加以鎖固，如此便完成公模部分。鑲嵌結構在模具中運用範圍很廣，例如成形品之造型部分、靠破孔部分、滑塊部分皆可使用鑲嵌結構。

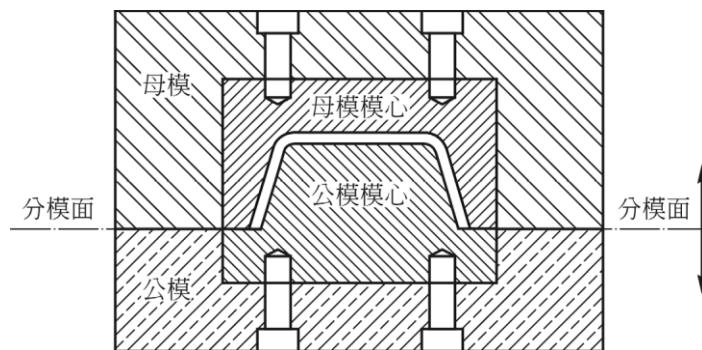


圖 4. 鑲嵌結構

6.倒勾

在開模方向之側壁內、外有凸出或凹入的部分，此部分我們通稱為倒勾。由於倒勾的問題，無法直接頂出成形品，強制的頂出會損傷成形品。為了使成形品在不損傷的狀況下，順利自模具中頂出，在有倒勾的部分，需在模具上設計滑塊機構，但因增加了滑塊機構，使模具的結構及作動複雜化，製造時間及成本也相對提高(如圖 5 所示)。傾斜銷(牛角)是滑塊機構中最常採用的機構，閉模時，傾斜銷讓滑塊移動到適當的位置，射出完成後，開模時，傾斜銷讓滑塊自倒勾部分退出，使成形品能順利自模具中取出。

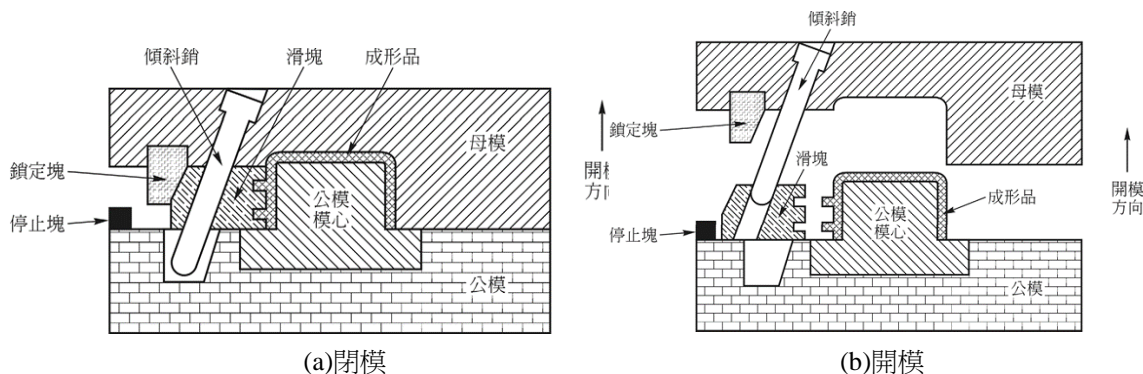


圖 5. 倒勾設計

7.螺栓柱

螺栓柱的設計一般是用來提供螺絲結合或是供栓緊或緊密配合使用的，所以螺栓柱之設計應儘量結合其他牆面或補強肋，避免單獨凸出，如圖 6 所示。(1) 牆角螺栓柱：螺栓柱若是設計在產品的角落處，則以補強肋與雙邊牆面連結為佳；(2) 牆邊螺栓柱：螺栓柱若是設計在產品的牆邊，則以補強肋與單邊牆面連結，其他側可以 1 至 3 面補強肋結合；(3) 非牆邊：螺栓柱若是設計在非牆邊之位置，則以 4 面補強肋結合。

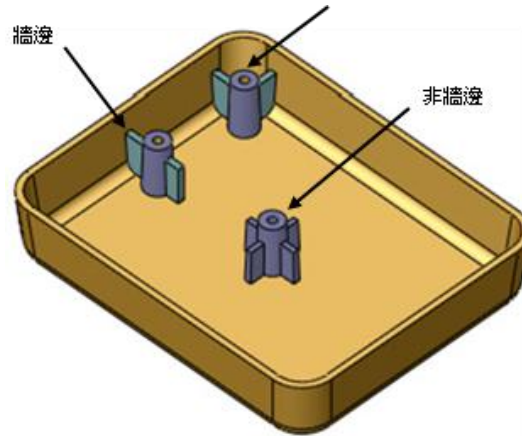


圖 6. 螺栓柱

三、模具設計

本研究利用 SolidWorks 建構機構相關組件幾何模型，模型始於 2D 草圖，該草圖由幾何，如點，線，弧，圓錐曲線（雙曲線除外）和公式；尺寸添加到素描來定義的大小和位置的幾何形狀；關係是用來定義屬性，如切、平行、垂直、同心圓。軟體參數化性質意味著驅動器的尺寸和幾何關係，在草圖的尺寸可以獨立控制，或由其他參數的關係，建立內部或外部的素描。本研究設出品為一滑鼠蓋，具二方形孔及一圓形階級，厚度 0.5 mm，幾何模型如圖 7 所示

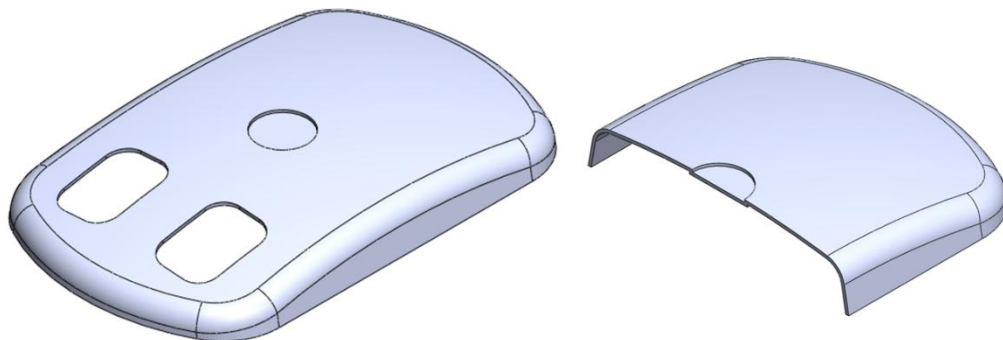


圖 7. 射出品幾何模型

在 SOLIDWORKS 中若是要完成塑膠模具或是鑄造模具的設計工作，所需要的工具便會是更多功能的綜合應用；儘管在 SOLIDWORKS 中有一個『模具工具』的工具列，但是若是要完成更完整或是較為複雜的模具設計，則需要將多種工具來進行綜合應用，例如多本體設計、曲面工具、布林運算等等[7]。

1. 縮放(Scale)

無論是在塑膠模具或是鑄造模具中，在開始進行模具的開發與設計之前，都必須要將產品(3D 模型)先進行等比例的放大調整，不過有時也會有不等比例的設計需求，而這完全得依照產品的外型來決定該如何進行放大尺寸的調整。基於產品的外型與原料的特性不同，要放大的比例也不盡相同，而透過放大的設定，讓原料(塑料 or 鋁)經過高溫熔成液狀再回到常溫冷卻後因熱漲冷縮之原理，讓產品冷卻收縮之後可以回復到原本所設計的尺寸。

2. 拔模分析(Draft Analysis)

模具工作開始進行之前，必須要執行拔模分析的功能來檢查與模具壁緣有接觸的模型外部面；透過這個工具，可以依照脫模方向的設定來檢查，只要不符合設定的脫模角度，則模型的外觀就會透過強烈

對比的顏色來提示。這是一個非常簡單容易使用的功能，也因此，即便是資深的模具設計工程師也得仰賴這樣的一個工具來協助。

3. 底切分析(Undercut Analysis)

較為複雜的產品，並不會只考慮到拔模角度(脫模角度)這件事情，因為還會有很多地方是模具中的公母模仁無法直接給予成形的地方，這些地方大多都必須要再製作一個大家俗稱的滑塊(側滑塊)才有辦法成形；透過這樣的檢查工具，就可以知道那些地方會需要我們來設計滑塊。

4. 分模線分析(Parting Line Analysis)

分模線是整個模具工程當中最重要的一個東西，透過上述的兩個檢查分析工具來得知脫模狀況與滑塊位置處，接著就是要找出較為理想的分模線，好讓模具中的公母模仁可以順利的繪製並產生出來。

5. 分模線(Parting Lines)

從模具的發展以來，”分模線”一詞即便是整個模具當中最重要的一個元素，既使在整個設計的工具演化至今，分模線無論在 2D 繪圖或是 3D 繪圖中，仍然是相當重要且無法忽略的一個項目。透過 SOLIDWORKS 的分模線功能，可取得一個存在於產品與空間當中的一段曲線，而多數的工作當中也都需要分模線才有辦法繼續進行其他功能的延伸。

6. 封閉曲面(Shut-off Surfaces)

此步驟即是模具業常用語”靠破”或”補破孔”。透過封閉曲面的功能，將產品之中有貫穿的孔洞位置且未與分模線連接地方進行填補，而經由此填補才能讓模具順利產生公模與母模；只要執行此功能，系統便會自動地將所有的孔洞抓取出來並且自動產生曲面，接著便會自動的將產生的曲面與公模面以及母模面合併成各個單一的曲面，也因為有這兩個完整無破孔的曲面，所以才能產生我們所需要的公母模具。

7. 分模曲面(Parting Surfaces)

此名稱也有人簡稱為模面或分割面，而此名稱所指的就是模具上的分模線所向外延伸的一個範圍(面)，而這個範圍是從分模線到公母模外部面的這段距離。分模面會因為產品分模線的不同而有著極大的變化，除此之外，更會因為設計的需求而不斷地改變分模線的走向，進而影響到分模面的成形。分模面的每一個變化，都關係著後端加工，關係到加工的難易程度、速度的快慢，以及模具使用的難易程度與壽命，也是這次研究的主題方向。

8. 模具分割(Tooling Split)

在 3D CAD 中要能夠取得模具中的公模仁與母模仁，那便要將上述的幾個步驟確實完成，那麼我們在此一階段就能夠順利取得公母模仁。此階段的步驟並沒有太多的技術或是難度存在與其中，其主因在於關鍵因素都落在分模線、封閉曲面與分模曲面這三者當中，在此先不談製作的過程與其難易度，若是這三個物件能建立產生出來，這個階段所要執行的工作也僅僅是很單純的功能指令執行。

9. 側滑塊(Core)

一般也會簡稱為滑塊兩字，而在業界中也有多數的人會稱之為”入子”，不過在通用的標準規格零件中，這還是有所分別。透過側滑塊的功能可以協助我們將複雜的產品外觀中，將一些公母模仁所無法觸及的細節來輔助成行。不過，側滑塊其主要功能還是在成形之後，透過與公母模做動方向的不同，讓公母模無需顧慮無法脫模的地方，而讓滑塊輔助成形即可。

依據上述步驟，公母模幾何模型設計如圖 8 所示

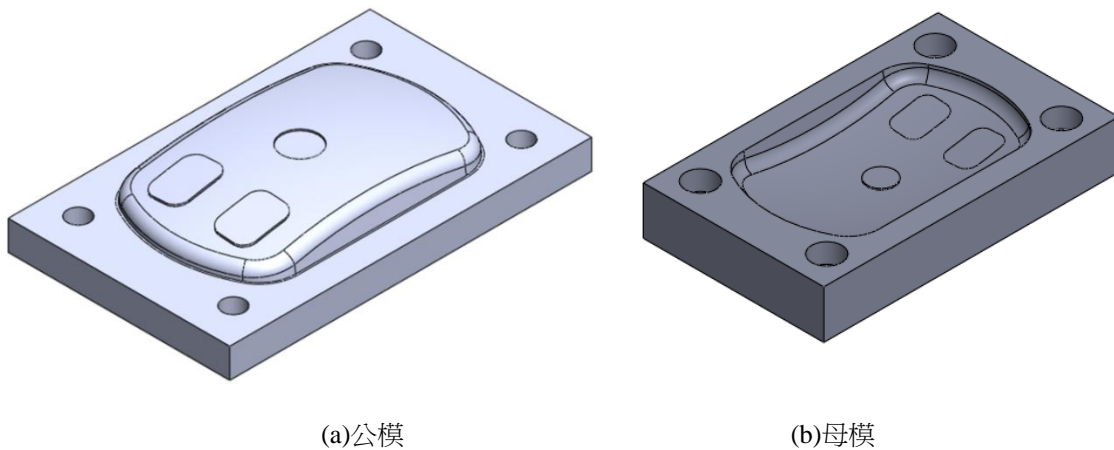


圖 8.模具設計

除公母模外，其他零件如母模固定板、承板、間隔腳座、公模固定板、導梢襯套、導梢、上頂出板、下頂出板、回位梢、頂出梢等零件也須進行設計，圖 9 顯示零件組合。

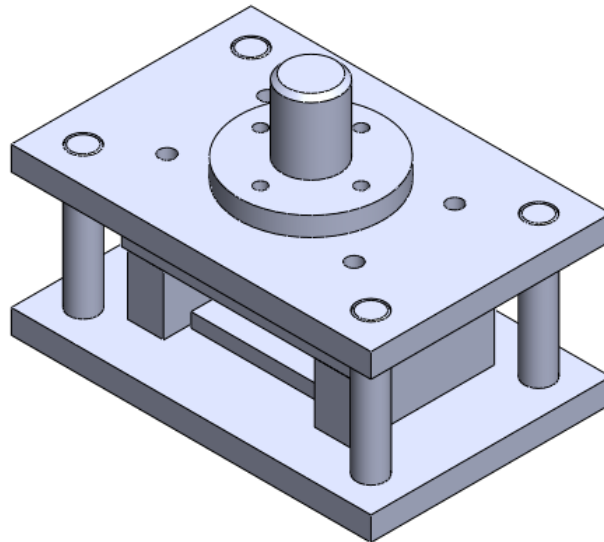


圖 9.模具組合

四、模具製作

模具製作是單件生產，依其用途對尺寸、形狀、權造、材質、精度、耐用程度等條件有各自不同的要求，製作模具時應仔細考量上述條件，選擇適切的加工方法。模具的加工主要可分為傳統切削、特殊加工、鑄造等方式完成，以往模具的製作多只依賴熟練的技工，運用傳統的加工方法完成，近來由於對精度、性能的要求日益提高，製作方法已逐漸採行機械化、自動化模式，加工法已擴展至鑄造、塑性加工、物理、化學加工的範疇，設計與製造以電腦輔助完成。

本研究利用 CNC 銑床加工公母模，CNC 銑床透過數位訊號驅動銑床進行加工銑床以工件作 XY 平面運動，Z 軸為刀具主軸旋轉，由上往下進行銑削工作透過若干刀刃的銑刀迴轉，移動工作物給切削的工作母機，對於少數或大量生產都是相當經濟的方式，銑床加工可固定加工件，旋轉刀具一般會做 3D 或 2D 的工件，能夠精確的將工作物銑平面、銑曲面、銑溝槽、銑齒輪等各種不同形狀。

4.1 刀具路徑規劃

本研究將 CAD 設計之零件導入 MasterCam，進行刀具路徑規劃與程式碼轉檔，MasterCam 為廣泛使用的 CAM 軟體，有 2D、3D、多軸加工操作，MasterCam 完整關聯性設計，讓您有效掌握工作並建立設計經驗，當您在零件設計中，不管零件多複雜，均可隨時修改任何元件，不須重啟就可立即更新刀具路徑。您可建立專屬的加工資料庫，點選已儲存的動作，而應用在其他零件，MasterCam 將協助您進行新模型的整合，達成快速、簡單、有效的設計。預設加工素材精確的預設加工素材，提供使用上諸多便利，在檢視、修改工件設計進版時，可以隨時比對既有設計，甚至對剩下的素材進行比對。

本研究零件複雜度不高，零件加工利用 2D 刀具路徑規劃即可完成，圖 10 CAM 操作與加工流程。

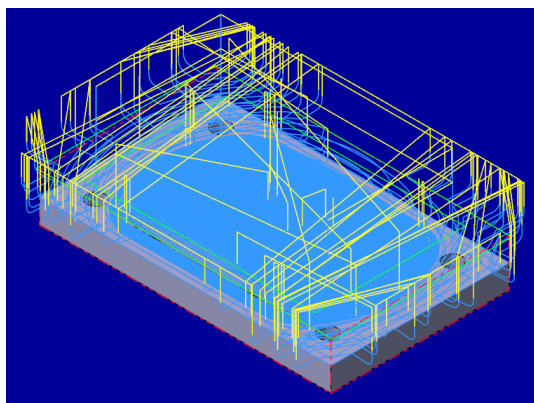


圖 10. CAM 操作與加工流程

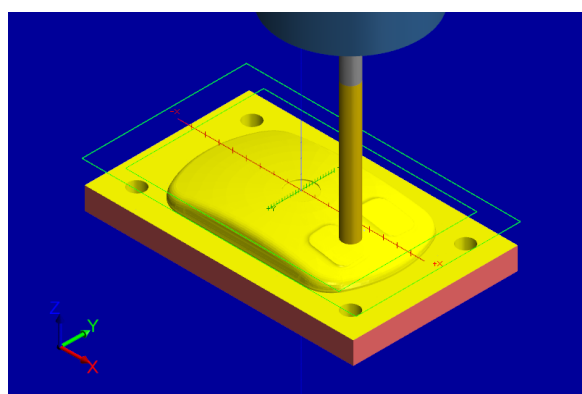
MasterCam 從簡單 2D 加工到複雜 3D 曲面加工，能模擬各種複雜形狀加工，是 CNC 加工常用規劃與模擬工具，重點說明如下：

- (1). 基本特徵加工(FBM)可自動進行實體模型形態選擇、輪廓、一般鑽孔 等程式化
- (2). 動態切削(DC)模式依切削條件調整刀具路徑，減少加工時間
- (3). 包含之字形、直線、螺線、近似螺線等形態儲存庫及開放式儲存庫
- (4). 套裝式快速進刀，包含螺旋線、輪廓、坡度、標準式或圓錐曲線
- (5). 使用外形或儲存庫再加工時，則使用較小刀具自動清除前次作業殘留之材料
- (6). 可支援 ISCAR 高效率加工(HEM)工具系列
- (7). 區域鏈結(Region Chaining)提供快速簡便 2D 高速加工區域調校
- (8). 可在模型任何點，點選拖曳設定加工起始點
- (9). 自動狹長孔、圓孔及銑牙
- (10). 前後一致的刀具，進給力，確保材料移除控制
- (11). 多重加工之進刀點自動識別並預鑽

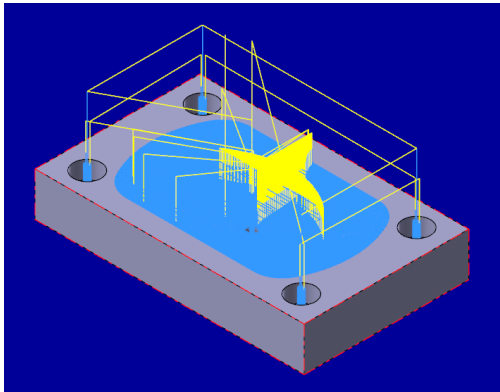
本例公母模刀具路徑規劃及加工模擬如圖 11 所示：



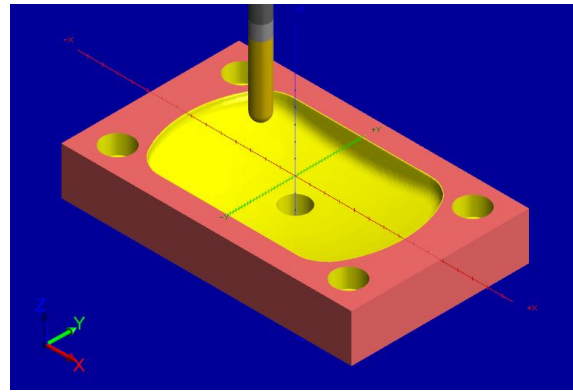
(a) 公模刀具路徑



(b) 公模加工模擬



(c) 母模刀具路徑



(d) 母模加工模擬

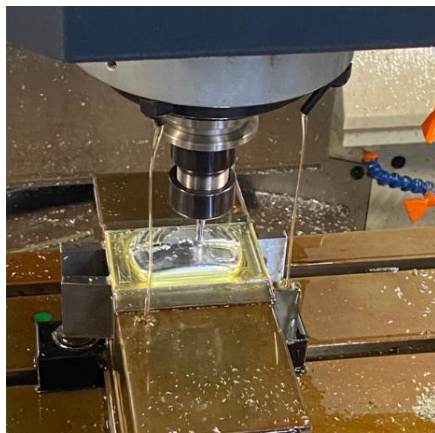
圖 11. 刀具路徑規劃與模擬

4.2 實體製作

刀具路徑規劃模擬確認後，利用後處理器轉成 NC 碼，導入 CNC 銑床加工公母模，其他組件用傳統車銑床完成。

1. 公母模加工

CNC 銑床編寫程式，排列刀具與切削路徑，模擬無誤後用方型鋁料夾持在 CNC 銑床，用量表校正中心，再用粗銑刀、精銑刀、球刀等刀具完成公母模加工，其中平面、曲面凸起交界處用平刀做清腳加工，確保接合面平整，實體加工如圖 12 所示。



(a) 公模



(b) 母模

圖 12. 公母模加工

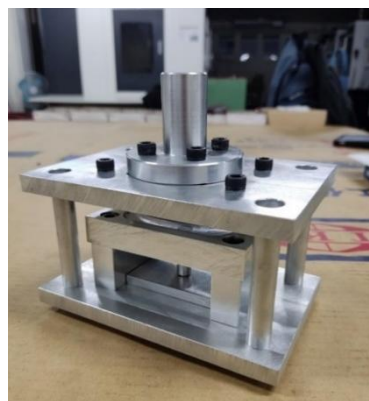
2. 模具實體

模具相關組件用精密車床、銑床加工完成，有上下模板、把手、導桿、墊腳塊、頂出桿、頂出板等元件，零件加工涉及很多實務技能，如把手加工程序如下：(1) 把圓型鋁料夾持車床用量表校正中心，用車床刀具車削至把手尺寸用導角細修毛邊，(2) 上模板把手鑽孔，用墊腳塊與 V 型枕平行於虎鉗，用巡邊器找工件的中心並歸零，用導引孔鑽四個洞再用鑽頭加工完成，完成後再用手工鉸刀修齊毛邊。

將加工完成工件用螺絲固定組裝，測試開合動作，組裝測試顯示模具配合良好，達成預期設計目標，本研究設計製作模具實體如圖 13 所示



(a) 開啟



(b) 閉合

圖 13. 模具實體

五、 結論

本研究利用 CAD/CAM 技術設計製造一教學用模具，射出品是一具曲面滑鼠蓋，設計時考慮模具設計相關技能，依序設定收縮率、分模線、拔模角度、分模面、模具分割等過程，利用 SolidWorks 設計公母模及相關零件 3D 模型；進一步將完成之模型導入 CAM 軟體，進行刀具路徑規劃與加工模擬，模擬無誤後再產生 NC 碼，利用 CNC 銑床及傳統機器進行實體加工製造，最後進行零件組裝與功能測試，結果顯示模具各零件尺寸配合順暢，達成預期設計功能。

模具設計製造涉及很多實務技能，包含模具設計知識、CAD 軟體的使用、CAM 軟體的應用，CNC 實機操作加工、傳統機械加工等技能，透過本教學模具設計製造，個人學得很多 CAD/CAM 技術整合應用，對提升實務技能有很大助益，透過本研究技能累積，將可強化模具設計製造與精密加工實務技能。

參考文獻

- [1] 模具行業的未來趨勢，<https://kknews.cc/zh-tw/career/nramrkq.html>
- [2] 陳介聰，精密設出成形模具設計與製作技術，著復文書局，1986。
- [3] Y.T. Tsai, K. H. Lin and Y.Y. Hsu, “Reliability design optimisation for practical applications based on modelling processes”, Journal of Engineering Design, Vol.24, Iss.12, pp.849-863, Dec., 2013.
- [4] Y.T. Tsai and K. H. Lin, “Dynamic analysis and reliability evaluation for an eccentric speed reducer based on FEM”, Journal of Mechanics, Vol.36, Iss.3, pp.395-403, June 2020.
- [5] 謝仁澤，“精密塑膠射出成形模具開發探討”，臺灣大學工業工程學研究所，2003。
- [6] 陳炤彰、李瑞陽、游嘉瑋、李嘉誠，塑膠射出成形模具設計與分析，五南圖書，2017。
- [7] 陳添鎮、孫之遡、郭宏賓，”SolidWorks 產品與模具設計”，全華圖書，2014。