

大口徑螺紋及管牙五軸銑牙加工技術開發

簡孟樹

黎明技術學院機械工程系

Email: gian@mail.lit.edu.tw

摘要

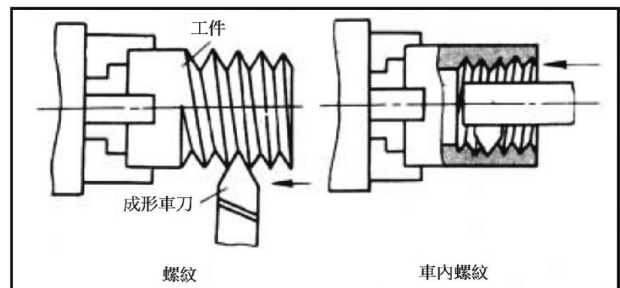
螺絲與螺栓屬常見的螺紋緊固機械零件，一般會作為機構連接鎖固使用，方便多個組件的組合，與銲接不同，鎖固機構的功能易於調整、易於拆卸。而螺紋切削製造主要有車削、銑削、攻絲、套絲、磨削、研磨、旋風切削及高效率的專用機滾壓成形，至於特殊之螺紋元件，則以車床加工即可，但對大型工件的大口徑螺紋及管牙內螺紋加工則因為工件無法架上車床加工，則必須仰賴 CNC 三軸聯動銑削進行螺紋加工，如再配合五軸加工刀軸朝向的靈活變化度，則取得了良好的效果以克服大型工件的大口徑螺紋及管牙內螺紋各總朝向加工的困難度，本研究計畫以客戶接單的飛機引擎測試架工件進行，內含大口徑螺紋 M56 x 5.5 深度 130mm 盲孔，M48 x 5.0 深度 110mm 盲孔內螺紋加工及美制 NPT2-11.5 (inch) 管牙內螺紋加工為目標，開發測試海德漢控制器 (Heidenhain) 複循環 NC 程式 (cycle 262) 內螺旋銑牙加工及電腦輔助製造 (CAM) 對錐度 1:16 NPT 管牙內螺紋的銑牙刀螺紋加工 NC 程式。

關鍵字：五軸加工、螺紋銑牙、電腦輔助製造

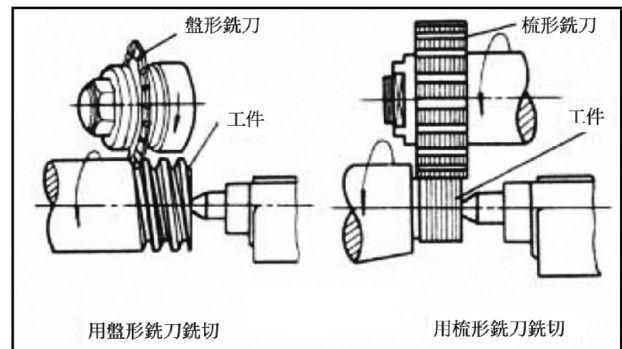
1. 前言

螺紋是一種在物體表面上形成的螺旋形的凹凸紋理或螺旋線條。它通常用於連接和固定物體，例如螺釘、螺母和螺栓等機械連接元件，它是機械構件中相當重要且應用廣泛之元件。而螺紋切削製造技術主要有車削、銑削、攻絲、套絲、磨削、研磨和旋風切削....等 (如圖一、二、三、四、五所示)，另外有以高效率的專用機製造，或採用特殊的加工

製造方法 (螺紋滾壓：它使用螺紋滾壓刀具通過擠壓和變形的方式將螺紋輪廓壓入工件表面。這種方法通常比螺紋切削更快速，並且可以提供更高的表面品質，如圖六、七所示)，少量或特殊之螺紋元件，則以車床加工較為便捷，但對大型工件的大口徑螺紋及管牙內螺紋加工則因為工件無法架上車床加工，則必須仰賴 CNC 三軸聯動銑床進行銑牙刀螺紋銑削加工 (如圖八所示)，這個方法似乎是針對計畫中大口徑螺紋和管牙內螺紋的合適解決方案，特別是當結合五軸加工刀軸朝向的靈活度時，這提供了適應大型和多方向螺紋加工的可能性，足以克服大型工件的大口徑螺紋及管牙內螺紋加工的困難度。

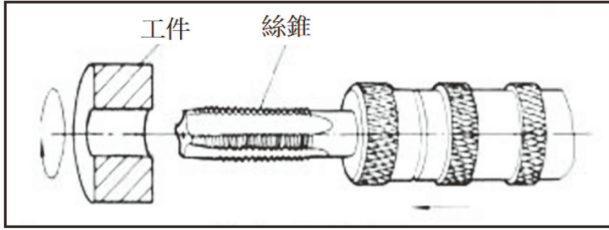


圖一 螺紋車削

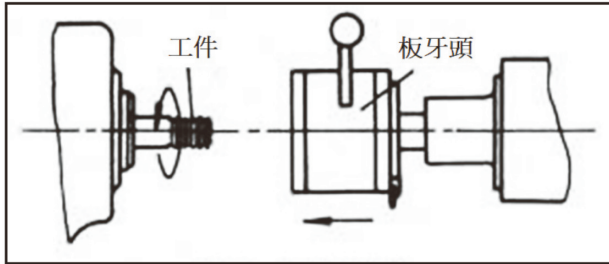


圖二 螺紋銑削

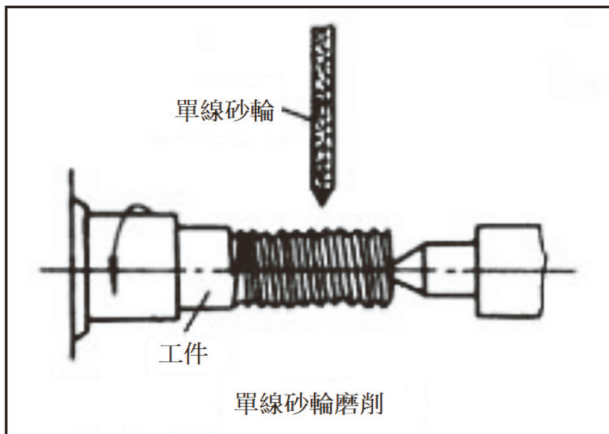




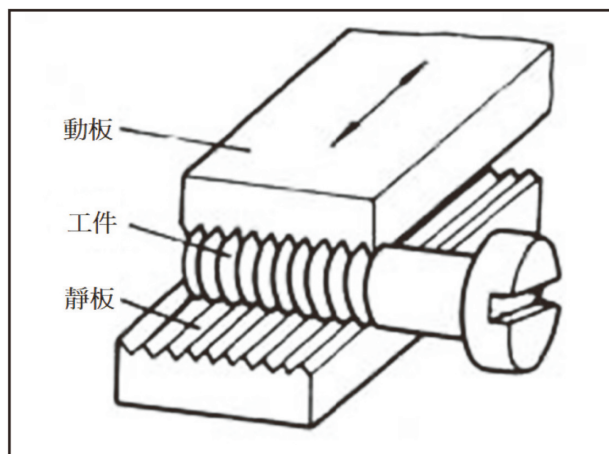
圖三 螺紋攻絲



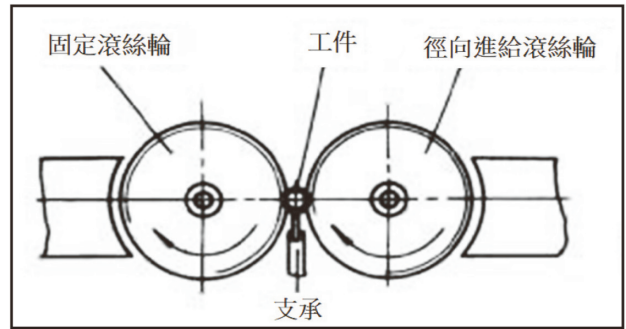
圖四 螺紋套絲



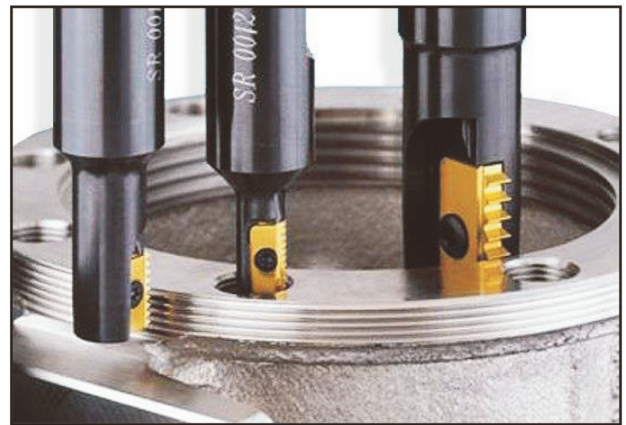
圖五 螺紋磨削、研磨



圖六 螺紋搓絲



圖七 螺紋滾絲

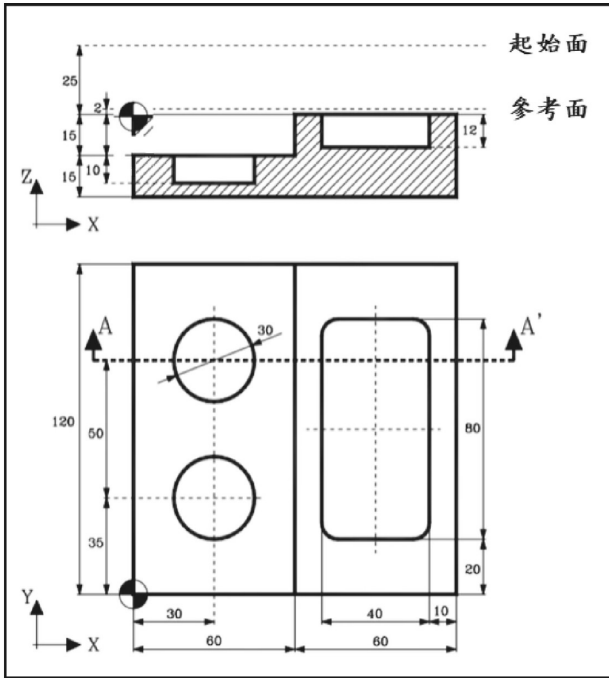


圖八 銑牙刀螺紋銑削

2. 研究內容

本研究計畫以客戶加工的飛機引擎測試架工件進行，內含大口徑螺紋 M56 x 5.5 深度 130mm 盲孔 48 孔，M48 x 5.0 深度 110mm 盲孔 36 孔內螺紋加工及美制 NPT2-11.5 (inch) 管牙內螺紋加工為基本探討解決技術，進而實際應用在客戶接單的工件上。

正常內螺紋孔加工需先鑽一直徑是螺紋外徑減掉螺距 (pitch) 的內孔，再做絲攻加工，如 M56 x 5.5 深度 130mm 內螺紋孔，就要先鑽一直徑 50.5mm (56mm - 5.5mm = 50.5mm) 的 130mm 深孔，一般為了達到實際有效牙數，加上因鑽頭角度關係會鑽大於 130mm 深度，而一般鑽頭規格最大也只好到 25mm，因此須特別訂製，但如以平常使用小的端銑刀以圓形挖槽方式則可輕易解決此一問題，如範例 (如圖九) 即可用海德漢控制器內建複循環 cycle 252 來寫加工程式 (如圖十) 圓形挖槽處理左邊兩個 $\phi 30\text{mm}$ 的孔加工。



圖九 大口徑圓形孔

```

16 PATTERN DEF
  POS1( X+30 Y+35 Z-15 )
  POS2( X+30 Y+85 Z-15 )
17 CYCL DEF 252 CIRCULAR POCKET
  Q215=+0 ;MACHINING OPERATION
  Q223=+30 ;CIRCLE DIAMETER
  Q368=+1 ;ALLOWANCE FOR SIDE
  Q207=+500 ;FEED RATE MILLING
  Q351=+1 ;CLIMB OR UP-CUT
  Q201=-10 ;DEPTH
  Q202=+2 ;PLUNGING DEPTH
  Q369=+1 ;ALLOWANCE FOR FLOOR
  Q206=+150 ;FEED RATE FOR PLNGNG
  Q338=+250 ;INFEED FOR FINISHING
  Q200=+2 ;SET-UP CLEARANCE
  Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE
  Q204=+25 ;2ND SET-UP CLEARANCE
  Q370=+1 ;TOOL PATH OVERLAP
  Q366=+1 ;PLUNGE
  Q385=+500 ;FINISHING FEED RATE
  Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE
18 CYCL CALL PAT F500 M3
19 L Z+50 R0 FMAX M5
  
```

圖十 複循環 cycle 252 加工程式

接下來即可對圓孔做內螺紋加工，採用的乃是海德漢控制器複循環 cycle 262 的螺紋銑削加工（如圖十一所示），讓 CNC 程式更為精簡而不必去動用到昂貴的 CAM 軟體。

螺紋銑牙（Thread milling）是一種加工工藝，涉及使用碳化鎢整體硬質合金螺紋銑刀在工件中形成螺紋。使用螺紋銑牙有幾個優點：

- **多功能性：**螺紋銑削可用於創建各種螺紋尺寸和輪廓，包括標準和非標準螺紋。

- **提高刀具壽命：**與傳統的絲錐或模具相比，使用整體硬質合金螺紋銑刀以其耐用性和長刀具壽命而聞名。

- **更高的精度：**與其他方法相比，螺紋銑削在螺紋創建方面提供了更高的精度。這可以產生更準確和一致的螺紋輪廓，這在精度至關重要的應用中至為重要。

- **縮短設置時間：**螺紋銑削可以消除頻繁更換和調整刀具的需要，從而縮短設置時間。

- **原型製作的成本效益：**在原型製作或生產小批量零件時，螺紋銑削可能具有成本效益，因為它不需要投資昂貴的模具或絲錐。

- **複雜螺紋：**螺紋銑削可以創建複雜的螺紋，包括多開始螺紋和具有不同導程角的螺紋，這些螺紋可能具有挑戰性或無法用其他方法實現。

- **改善排屑：**螺紋銑刀的設計可實現有效的排屑，降低排屑風險，使加工操作更加平穩。

- **降低切削力：**與其他一些螺紋切削方法相比，螺紋銑削產生的切削力較低，這在必須最小化工件力的情況下是有利的。

- **適用於硬質材料：**整體硬質合金螺紋銑刀非常適合加工不鏽鋼、鈦和淬硬鋼等硬質材料。

- **可重複性：**螺紋銑削提供一致且可重複的結果，使其成為需要精度和均勻性的應用的理想選擇。

儘管有其優點，但螺紋銑牙可能不是所有情況的最佳選擇。在決定是使用螺紋銑牙還是其他螺紋切削方法（如攻絲或模具螺紋加工）時，必須考慮材料類型、螺紋尺寸和產量等因素。但對本研究計畫大口徑螺紋加工確實是較佳的方法。



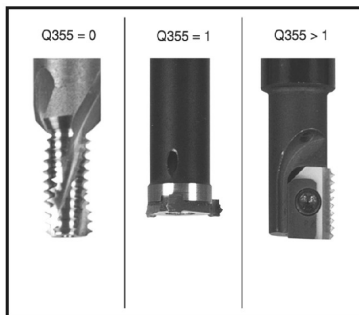

```

2 TOOL CALL 6 Z S1500 F500
3 L Z+50 R0 FMAX
4 CYCL DEF 262 THREAD MILLING
  Q335=+30 ;NOMINAL DIAMETER
  Q239=+2 ;THREAD PITCH
  Q201=-25.4 ;DEPTH OF THREAD
  Q355=+20 ;THREADS PER STEP
  Q253=+2000 ;F PRE-POSITIONING
  Q351=+1 ;CLIMB OR UP-CUT
  Q200=+0 ;SET-UP CLEARANCE
  Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE
  Q204=+50 ;2ND SET-UP CLEARANCE
  Q207=+198 ;FEED RATE MILLING
  Q512=+198 ;FEED FOR APPROACH
5 L X+0 Y+0 Z+0 R0 M3 M99
6 L Z+50 R0 FMAX M5
7 END PGM THREADMILLINGWITH INSERTS MM
  
```

圖十一 複循環 cycle 262 螺紋銑牙

整個複循環螺紋銑牙 cycle 262 參數：

- Q335：標稱直徑
- Q239：螺距；+ 右螺旋
- 左螺旋
- Q201：螺紋深度
- Q355：0 = 到達螺紋深度的一個螺旋
1 = 完整螺紋長度上的連續螺旋
>1 = 具有接近與離開的數個螺旋路徑



圖十二 Q355. 參數定義

- Q253：刀具進入和離開工件時的移動速率
- Q351：+1 = 順銑
-1 = 逆銑
- Q200：刀尖與工件表面之間的距離
- Q203：工件表面的座標
- Q204：安全高
- Q207：刀具在銑削時的行進速度
- Q512：刀具在進刀時的行進速度

3. 結果與討論

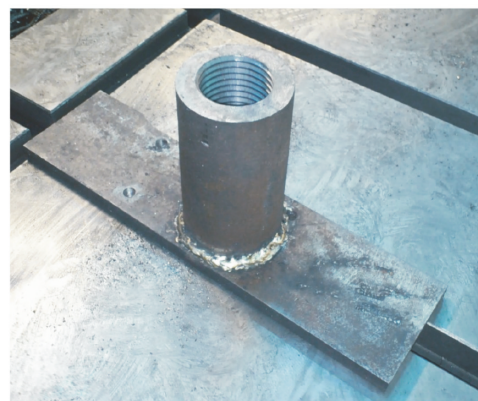
由於客戶接單一組飛機引擎測試架工件，內含大口徑螺紋 M56x5.5 深度 130mm 盲孔，M48x5.0 深度 110mm 盲孔內螺紋加工及美制 NPT2-11.5 (inch) 管牙，客戶之前未接觸過如此大口徑內螺紋加工，原以為只要配合以大口徑絲攻（如圖十三所示）加工即可，卻造成主軸扭力不足刀具鎖死於工件上，因此改以銑牙刀（如圖十四所示）開發測試螺旋銑牙內孔螺紋加工，完成工件如圖十五所示。



圖十三 M48x5.0 絲攻



圖十四 銑牙刀



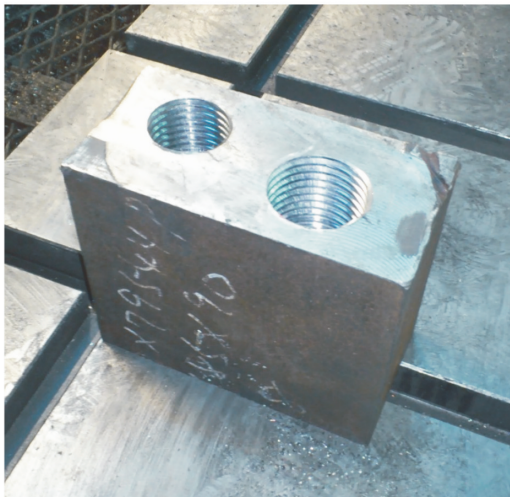
圖十五 M48x5.0 螺紋螺旋銑牙測試工件

M48x5.0 深度 110mm 盲孔內螺紋加工測試工件完成後，測試是否符合客戶要求並經客戶品管人員驗證確認，如圖十六所示。



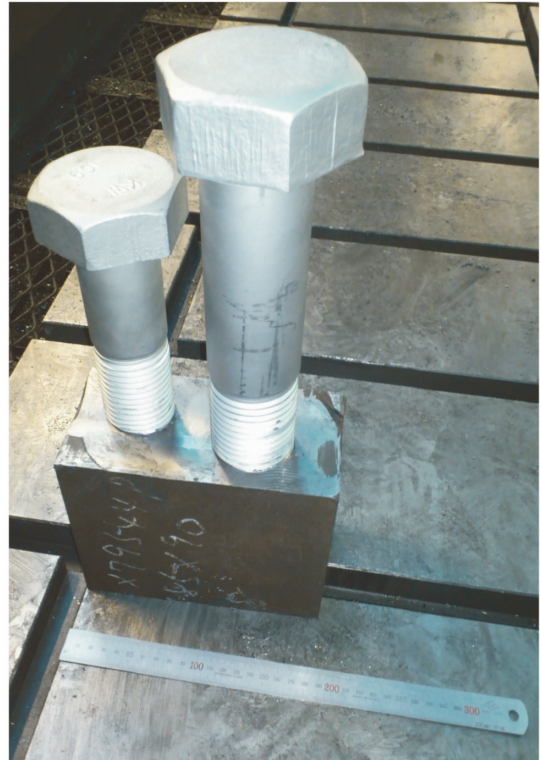
圖十六 M48x5.0 深度 110mm 盲孔內螺紋螺旋銑牙測試工件驗證

使用同一把刀開發測試螺旋銑牙 M56x5.5 內孔螺紋加工，完成工件如圖十七所示。



圖十七 M56x5.5 螺紋螺旋銑牙測試工件

M56x5.5 深度 130mm 盲孔內螺紋加工測試工件完成後，測試是否符合客戶要求並經客戶品管人員驗證確認，如圖十八所示。



圖十八 M56x5.5 深度 130mm 盲孔內螺紋螺旋銑牙測試工件驗證

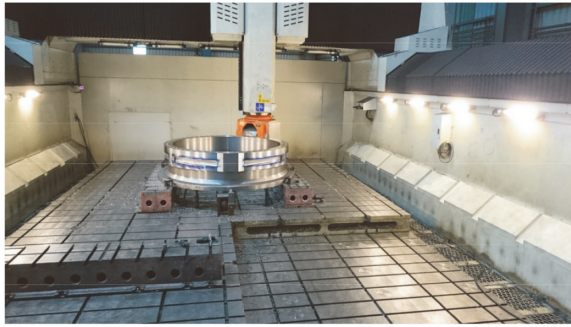
最後飛機引擎測試架工件 M48x5.0 深度 110mm 盲孔於五軸加工機上加工如圖十九所示



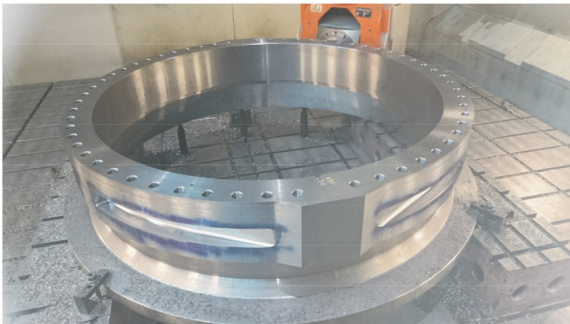
圖十九 M48x5.0 深度 110mm 盲孔飛機引擎測試架工件加工



飛機引擎測試架工件 M56x5.5 深度 130mm 盲孔於五軸加工機上加工如圖二十、二十一、二十二所示



圖二十 飛機引擎測試架工件於五軸加工機上加工



圖二十一 M56x5.5 深度 130mm 盲孔飛機引擎測試架工件於五軸加工機上加工



圖二十二 五軸加工機上不同刀軸朝向加工

4. 結論

本研究計畫協助廠商克服以前未曾加工過的大口徑螺紋及管牙內螺紋加工，再配合五軸加工刀軸朝向的靈活變化度以建立廠商加工技術能力，其總結成果如下：

- 配合海德漢控制器(Heidenhain)內含之 cycle

205(pecking)、cycle 252(circular pocket)、cycle 208(bore milling)及 cycle 262(thread milling)測試大口徑螺紋 M56x5.5 深度 130mm 盲孔，M48x5.0 深度 110mm 盲孔內螺紋加工。

- 配合 cycle 19(working plane)的定義切換不同加工平面的大口徑螺紋盲孔內螺紋加工。如此 1 及 2 項成果引用海德漢控制器 (Heidenhain) 內含循環指令，即可完成各種直牙無錐度內螺紋加工應用而不必動用到 CAM 軟體，可降低 CAM 工程師的負荷並提供現場師傅的加工彈性。

- 針對美制 NPT 管牙內螺紋，建立起 CAM 工程師對 1:16 錐度管牙內螺紋的各項尺寸概念，並協助 CAM 工程師建立 1:16 錐度小徑孔的幾何，並由 CAM 產生 NC 加工程式完成 1:16 錐度小徑孔的加工。

- 協助 CAM 工程師建立 1:16 制 NPT 管牙內螺紋的螺旋線建立，並以此螺旋線建立銑牙刀的管牙內螺紋加工 NC 程式。

- 建立起銑牙刀銑牙加工之主軸轉速 (切削速度)、進給及切削深度的切削條件並測試刀具壽命資訊，以作經驗傳承。

5. 參考文獻

1. Heidenhain T 530 user manual, 2005
2. CATIA V5 Release18 user guide, 1999

Development of Five-axis Thread Milling Technology for Large-diameter Threads and Pipe Teeth

Robert Gian

Department of Mechanical Engineering,
Lee-Ming Institute of Technology

Email: gian@mail.lit.edu.tw

Abstract

Screws and bolts are common threaded fastening mechanical parts, which are generally used as mechanism connection locking, which is convenient for the combination of multiple components. The thread cutting manufacturing mainly includes turning, milling, tapping, threading, grinding, polishing, whirlwind cutting and high-efficiency special machine rolling forming. As for the special thread components, it can be processed by lathes, but for the large-diameter threads and pipe teeth internal thread processing of large work pieces, it must rely on CNC three-axis linkage milling for thread processing. In order to overcome the difficulty of machining the large diameter thread and the internal thread of the pipe tooth in each direction of the large work piece, this research plan is carried out on the work piece of the aircraft engine test frame, including the large diameter thread M56 x 5.5 depth 130mm blind hole, M48 x 5.0 depth 110mm blind hole internal threading and the American NPT2-11.5(inch) pipe tooth internal threading processing as the goal. Develop and test the internal thread milling with Heidenhain controller's Cycle 262 and Computer-Aided Manufacturing (CAM) NC program for thread milling for internal threads with a taper of 1:16 of NPT pipe tooth.

Keywords : Five-axis machining 、 Thread-milling 、 CAM

