



以精密量測的方式探討引擎零件薄板切削加工製程之變異量
**Investigation of the Machining Variation of Thin Plate
 Engine Parts by using Precision Measurement**

計畫編號：NSC 88-2212-E-032-005

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：陳步偉 淡江大學航空太空工程學系

一、中文摘要

本研究計畫期藉由以精密量測的方式來探討引擎零件之薄板切削加工製程之變異量。引擎內之零件通常以選用高強度且耐高溫耐腐蝕的材料為主，因此重量輕之薄板方式的超合金或其他高強度合金鋼即為重要選材考慮。但該類材料因其特殊的材料金相和以薄板切削時所產生種種問題以及加工過程中之應力釋放等問題，造成變異量非常大，以致無法達到規範內之精度要求。依航太規範的要求，薄板的精度如平坦度或真圓度等必須在製程中即已控制而不能以一般機械之矯正方式或二次加工的方式來達成，因故切削的製程參數即非常重要。目前有關此類材料的薄板切削均依經驗而多次翻面加工完成，本研究計畫主要目的以結合精密量測的方式和觀察金相的變化來探討加工製程間之變異量相互的關係，並期望進而控制航太精密零件薄板加工之製程。

關鍵詞：引擎零件、薄板加工、超合金、變異量

ABSTRACT

This research is concerned with experimental investigations of the precision measurement of thin plate of engine parts after machining. The major factors for choice as an engine part is their high strength-to-weight ratio, high temperature resistance and anti-corrosion capability. Due to its very high

strength-to-weight ratio, the thin plate superalloy or Ti-alloy have been widely used in aircraft or commercial ground engines. However, the precision variations of thin plate during machining become its main drawback. The main reasons were induce by their ingredients, e.g. C23 diffusion in iron phase for A286 iron-based superalloy, and also caused by stress concentration. According to the general aviation standard, all the tolerances have been achieved during machining and can not be done by the strengthening or other processes. The ongoing machining processes for thin plate were let the parts set for a few hours and continued to second process or machining the alternative face each time. These processes cost a lot of time to get the required dimensions. This work has been conducted use precision measurement to find the variation about these kinds of thin plate and further to control the machining processes.

Keywords: Engine Parts, Thin Plate, Manufacturing, Superalloy, Variation

二、緣由與目的

本研究計劃之主要研究目的為利用精密量測的方式來探討引擎零件之薄板切削加工製程之變異量。此研究期藉由各種不同的加工條件而產生金相的變化來探討薄板加工前後硬度之變化及有關真圓度及平坦度等精度之變化量。

在各項科技領域中，航太科技所涵蓋的範圍，可說是相當地廣泛。除了需要基本的力學、電學、機械、燃燒、製造、天文物理、地球科學、系統工程等知識外，更須充分掌握進步神速的控制、材料、光學與資訊科學，甚至包括生物科學。其發展程度可作為衡量國力的指標，並與國防科技之發展息息相關；因此，先進國家莫不投入大量的人力、財力及物力，致力於航太科技與工業的發展，期望突破現有之技術，進一步提昇航太科技水準。有鑑於此，我國政府在經濟能力提昇後，也將航太科技列為國家重點發展方向。希望藉此帶動各相關科技的進步，及增進國防自主能力。

飛具結構設計之目標，在使飛行器在其漫長的服勤期間，遭遇任何惡劣的環境及負荷，其結構均能承受而無恙。高品質之結構設計必須符合下列原則：安全（Safety）、長壽（Long）、重量低（Minimum weight）和可維護性高（Maintainability）。一般民用航機之經濟效益設計壽命為 20 年，期間可藉高品質之維護來保持飛行器之適航狀態，和延長使用壽命。對於飛具結構，必須設計能承受地面載荷（Ground loads）及飛行載荷（Flight loads），並能容忍某種程度之累積損傷（如 Undetected damage 和 Impact damage），而結構不致發生危險之失效。就營運而論，飛行器之空重（Empty weight）越低越符合經濟效益。因此，在飛具結構設計選材時，強度與重量比（Strength-to-weight ratio）要高，同時也須符合抗疲乏、抗腐蝕等需求。為了配合飛行器之高使用率，飛具零件如結構組件以及系統組件，必須易於維護、更換或修理，使飛行器停留維修時間需求減至最低。

飛具結構設計之要求，乃按照 FAR25.571 節。1978 年，美國聯邦航空總署（FAA）重新修訂 FAR25.571 節，規定飛具結構設計必須具備下列要求：靜態強

度（Static strength）、耐久性（Durability）、損傷容忍（Damage tolerance）和安全壽命（Safe life）。飛行器在服勤期間，結構之損傷（如裂痕及腐蝕）均能使其靜態強度能力降低。飛具結構最大的傷手，除了腐蝕（Corrosion）便是裂痕（Crack）。一般結構之裂痕有：應力侵蝕破裂（Stress corrosion cracking）和疲乏裂痕（Fatigue crack）。而提升疲乏效能（Fatigue performance）的方法有：適當地設計（Proper design）、正確地製造（Correct manufacturing）和正常地操作（Operating inside design envelope）。由此可知，正確的製造方法與程序，實為確保飛航安全的重要環節之一。

切削合金及非鐵金屬等韌性材料時，易產生沾屑刃口（Built-up edge）之現象。所謂沾屑刃口，乃刀口有異狀物質堆積溶著。這是由於切屑與刀具頂面（Face），因高溫高壓的摩擦，使一部份切屑中的被削材料粒子，因加工硬化變成異狀物質堆積於刀刃前緣所形成新的刀口。沾屑刃口發展到一定程度（堆積到一定厚度）時，內部就會起破壞；破壞後一部份的異狀物質與切屑一起被擠走，但部份則留在切屑面上。沾屑刃口的發生、生長、分裂到脫落，一般以 1/10~1/200 秒為變化週期；因此，刀口位置時時刻刻在改變，造成切割深度不能保持一定，加工精度因而降低。此外，並由於沾屑刃口的刀尖半徑大，使得切削面變粗。

薄板件在引擎內之應用，包括壓縮之旋轉件：如 T-53 引擎內的第一級至第四級冷卻氣封轉盤（air cooling plate, stage No. 1~4），使用鐵基超合金 A286，其最大外徑約為 $\Phi 175\text{mm}$ ，平均厚度約為 1.5mm，精密度要求約在 0.12mm 以內。此類旋轉件亦大量使用於國內航太業者與 Allison 公司研製之 601K 汽電共生引擎，唯一差異為汽電共生引擎為地面使用，較不考慮重量因素；故使用價格較便宜之耐熱不銹鋼如 SUS 330、SUS 340 及 SUS

440C 取代鈦合金或其他超合金，但精密度要求一嚴謹。目前國內積極爭取之 GE CT-7 引擎，亦使用相似的薄板工件；除此之外，一般引擎內使用之軸承座（house bearing）及機件之外罩（housing），亦屬薄板加工範疇之內。以上材料因屬航太特殊材料，較不為國內業者所熟悉；但此類材料大部份使用於引擎之重要部位，故相關的規範需求或相關的技術要標準，均管制的非常嚴謹。

航太工業中所使用之零組件，大部份為精密零件，不僅尺寸公差、形狀公差及表面光滑度要求嚴格；加工時所產生的熱應變及加工變質層（Deformed layer, Flow layer），會對零件疲勞和強度有影響，應需極力避免之。刀具切削金屬材料時，會使部份材料塑性變形，材料表層變成切屑而分離。這個時候作用於刀具的力量，稱為切削阻力（Cutting resistance）。切削阻力會引起工件變形或刀尖局部退火，使得構件內產生程度不同之殘留應力。切削面表皮亦受此影響，產生剪力變形，使其形成與母材不同性質的加工變質層。變質層在加工後，結晶粒破碎而變成細微的粒子，晶界則向切削的方向移動，形成纖維狀組織。變質層中的金屬材料，其結晶格子非常零亂且都變形，存有很大的殘留應力，造成耐蝕性降低。殘留應力是由於工件加工後，順著加工方向的結晶粒變細，使得金屬表面的結晶構造與內部相異，而呈現內部應力。一般而言，切削主力的大小受切削速度的影響小，但卻與切割深度成正比例，且與進刀量成反比例。此外，刀具所受的阻力往往大於工作所受的作用力。切削時所消耗的動力，大部份轉換為熱量，且大部份的熱量積蓄於切屑、刀具及工件中，使刀具的刀口及刀尖的溫度升高，甚至達到赤熱的程度。

本研究計劃期望以薄板之金相與硬度的變化，並與平坦度與真圓度之精密量測方式來探討薄板切削加工製程之變異量，以提供完整的數據與相關資訊供國內航太

業者參考，並予以理論分析研究此一相關製程的理論基礎。

三、結果與討論

本研究採用兩種航太產品及一般工業常用的鋼材為主要研究對象，包括 S45C、SUS304 及 SUS440C。薄板鋼材外徑為 $\phi 176$ mm 而內徑為 $\phi 56$ mm 寬度為 20 mm。選用之物件將分別經由車床切削至厚度 2、4、6 mm，如圖一所示。而車削加工之後之厚度變異量的量測為由工件之外緣 10 mm 與 20 mm 處以高度規來量測與比較。

本研究之結果(本報告僅列出 S45C 之結果)如附圖 2-5 所示，比較各組數據圖可知，外緣所得之變異量較內緣為大，如圖二中所示。而直接加工為加工者在不顧慮材料的特性之情況下以快速進刀的方式車削，而經驗加工則為加工者依所規定的標準需求而取漸進的方式車削並採取線上量測的方式檢驗。圖三中則為 S45C 以經驗加工方式所得之結果，由該圖了解以經驗加工的方式在薄板變異量之控制可獲得較佳的結果，若比較圖二及圖三的厚度為 2 mm 時之外緣結果，可知由直接加工所得之 0.15 mm 的變異量降為 0.09 mm，降低的幅度將近為 100%，而內緣部份的變異量由 0.15 mm 可減低至 0.05 mm，主要原因為內緣較接近車削的夾爪部份，因此減少了刀具與工件因加工所產生的震動，而可得到更好的控制。經驗加工與直接加工對工件內緣與外緣的變異影響如圖四和圖五，比較以上二圖可知兩種加工方式對厚度 4 mm 和 6 mm 的變異量的結果沒有明顯的差異。

四、結論

由以上的結果可知，薄板加工若以直接加工的方式，變異量較不易得到比較好的控制且偏差設計值較大，但以經驗加工所採取的漸次進刀與多次的線上量測可得較佳的結果，特別是可於薄板外緣的變異

量降低幅度來比較。因此由本計劃的各項數據比對可知工件的薄板加工方式可由經驗的累積如以線上量測的結果或數據的採擷與統計而予以控制。

本實驗的薄板加工樣本外緣仍有部份屬於懸臂加工方式執行，但如能針對各種特殊薄板外型設計專用的夾治具來緊靠工件，而使加工件受力平均，將可更易於控制變異的因素。

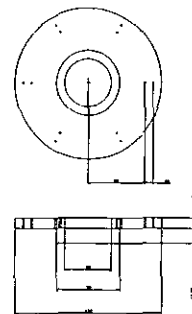
五、成果自評

1. 為配合國家既訂之亞太營運及製造中心計畫及區間客機發展之政策，對於一般飛航器引擎及汽電共生引擎之薄板件加工製程及控制參數之研究，以提昇整體之製造技術。
2. 對航太製造業而言，可利用本研究計畫之薄板件之金相、硬度與精度的相互關係，如此可預測加工之參數，減少不必要的工時與測試材料的消耗而節省成本，如此進而提昇航太產業的競爭力，並促進國際市場之開擴。
3. 本計畫之執行可了解特殊製程之各項參數，並用以計算製程之變化與過程，而得一般基礎理論研究所需之數據。

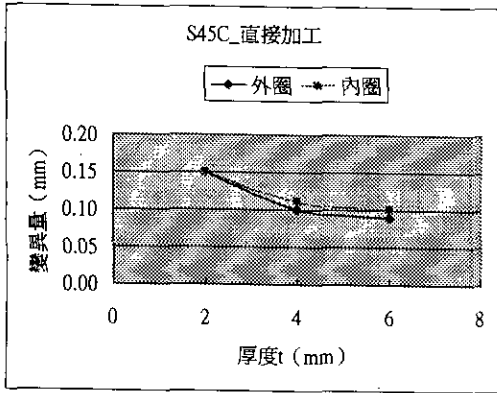
六、參考文獻

1. Horst Buhl, Advanced Aerospace Materials, Lausanne, June 1992
2. GE Spec. B50TF36, 17-4PH Stainless Steel Investment Castings, Aug. 6, 1991
3. GE Spec. C50TF78, Premium Quality A286 Alloy Forged Parts, June 4, 1990

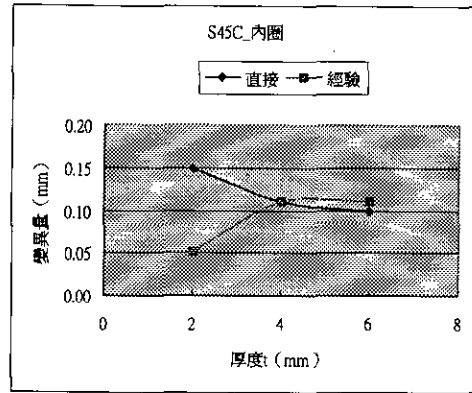
4. Allision present for CASID, Aug. 1995
5. Metals Handbook, Ed. by Howard E. Boyer and Timonthy L. Gall, American Society for Metals, May, 1995
6. 陳永信譯，不銹鋼的加工技術，機械月刊，pp. 236-241，第二十卷第五期，八十三年五月。
7. Norman B. Schmidt, New Standard in Machinable Stainless Steels, American Machinist, pp. 91-94, Oct. 1995.
8. Arthur H. Tuthill and Richard E. Avery, Specifying Stainless Steel, Advanced Materials & Processes, pp. 34-38, Oct. 1992
9. 徐明堅編著，金屬材料平直矯正，復漢出版社，June, 1992 “Metals Handbook Desk Edition”, American Society for Metals, PP. 34.1-34.11, 1995.



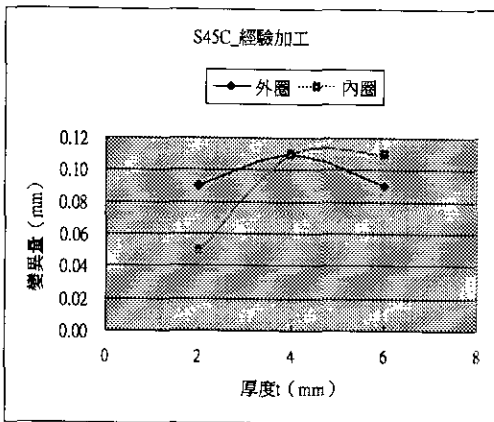
圖一 薄板加工件之示意圖



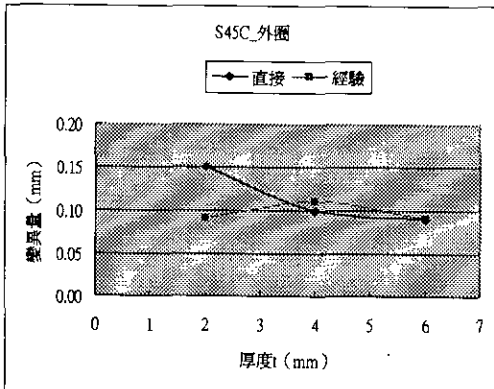
圖二 S45C直接加工外緣與內緣之變異量



圖五 S45C直接加工與經驗加工內緣之變異量



圖三 S45C經驗加工外緣與內緣之變異量



圖四 S45C直接加工與經驗加工外緣之變異量