

## 動壓軸承內孔加工形貌檢視模組開發 Prototype Development of the Optical Inspection Module for Fluid Dynamic Bearing Groove Patterns

溫梓宏<sup>1</sup>、許志成<sup>1</sup>、吳文傑<sup>2</sup>、林大裕<sup>2</sup>

Tzu-Hung Wen,<sup>1</sup> Chih-Cheng Shiu<sup>2</sup>, Wen-Chieh Wu<sup>2</sup> and Da-Yu Lin<sup>2</sup>

財團法人金屬工業研究發展中心區域研發服務處智慧技術組

Regional R&D Service Department

Metal Industries Research & Development Centre (MIRDC), Taiwan

<sup>1</sup>E-mail : m940952@mail.mirdc.org.tw

<sup>1</sup>E-mail : a710756@mail.mirdc.org.tw

<sup>2</sup>E-mail : wcwu@mail.mirdc.org.tw

<sup>2</sup>E-mail : dayu@mail.mirdc.org.tw

### 摘要

流體動壓軸承性能表現良窳，主要取決於軸承本身動壓溝槽所能呈現之潤滑流體建壓效應，是否經由適切設計並運用具量產效益與加工精度之加工法予以實現。本研究發展之目標即在於建立一套軸承內孔壁溝槽加工形貌檢視模組，可供動壓軸承溝槽電化學加工製程研發階段，能夠在操作現場用於檢視內孔壁溝槽加工成果，並將檢視圖像予以數位化紀錄之工具。建構此模組需整合運動平台機電整合控制、內視鏡機器視覺取像及圖形觸控人機介面開發等技術項目。運用本平台可作為將工件加工結果做進階量測前之預覽篩選與整合記錄，爾後依檢視結果視需求挑選需要剖開進行細部檢視與量測之加工軸承件，將大幅減少檢測時間與加工件之破壞耗費。

**關鍵字：**內視鏡，軸承加工檢測，機器視覺檢測。

### Abstract

Performance of a fluid dynamic bearing (FDB) primary depends on its lubricant fluid dynamic effects which contributed by kinds of grooves pattern design. Hence, appropriate grooves pattern design and groove contour machining method play important roles of entire FDB key technologies. For in situ workpiece machining result examination during manufacturing process development phase, this project devotes to construct a prototype module for FDB groove patterns optical inspection and resulting picture files recording. Instead of the traditional endoscope manual operation method, this module integrates techniques of electrical precision moving stage control, endoscope automatic optical inspection, and touch panel human machine interface developments. According to the saved inspection results, it's more effective and economic to help the operator to pick up those workpiece which needed to cut open for advance inspection and measurement, thus avoid cutting every workpiece for examinations.

**Keywords:** Endoscope, Bearing Inspection, Automatic Optical Inspection.

### 1. 前言

頸軸承形式之流體動壓軸承為典型的微小管徑具有內孔壁加工特徵微結構之代表工件，內孔壁所加

工寬度僅數十微米尺度之特徵結構檢視量測難度較高，往往無法直接以目視達成細節檢視。傳統於檢測小型軸承之技術與設備，多著重於孔內面粗度、真圓

度及圓柱度等軸套尺寸特徵量測，而動壓軸承與其不同之處在於尚具備孔內壁微特徵，而檢測此類工件內孔壁特徵結構加工良窳之傳統方法大多是將其沿軸向對剖，由直接目視或工具進行表面形貌檢視與量測，不但無法滿足線上品管需求，尚須考慮剖開時對工件造成應力破壞或熱傷害，增加檢視或量測上更多不確定因子。

本研究基於上述動機，規劃開發以視覺檢視方式之動壓軸承內孔壁溝槽加工形貌檢視模組，藉由運用工業內視鏡、軸承工件特設治具及電控移動平台配合達成內孔壁形貌自動化檢視離型模組之架設、介面軟體開發與操作試驗。未來進一步若可配合於機器視覺校正與尺寸量測技術上精進，即可達成具內孔壁加工特徵尺寸量測功能之自動化量測平台技術開發。運用所提模組平台與相關軟硬體技術，將可在不破壞軸承工件之情況下達成加工品質監測。

## 2. 軸承內孔壁加工形貌檢視技術與需求

### 2.1 動壓軸承之內孔壁加工形貌特徵

流體動壓軸承為目前發展應用於3C產業小型馬達、風扇及泵浦等產品之軸承組件技術中，性能表現優於傳統滾珠軸承與油封軸承之軸承類別。其動作原理為軸承主軸與軸承件間之潤滑流體經由在軸承轉動所產生之流場效應下，在主軸與軸承間之動壓溝槽間隙形成潤滑油膜，以達到非接觸旋轉及油封效應避免潤滑流體洩漏之目的，可提供穩定之支撐力與運轉間隙避免軸承元件間之磨耗及產生振顫與噪音，並具有優異之運轉精度[1]。

綜觀整體動壓軸承性能表現之優劣，主要即取決於軸承內孔壁溝槽結構設計之良窳與加工是否實現設計形貌之結果。而溝槽加工之優劣主要取決於整體溝槽形貌、溝槽寬度及毛邊等，另外若是應用電化學此類非傳統加工技術，則須另行考慮因加工參數設定不當造成加工表面品質不良及電解生成物於工件表面之殘留附著等問題[2]。由圖一所示，以電化學加工方法進行孔內周面溝槽形貌加工之工件剖面，說明在此種加工方法下，可見如溝寬過大、溝槽或軸孔內表面局部加工缺陷等之數種加工缺失。

### 2.2 現有可應用內孔壁加工形貌檢視方法之比較

目前用於微管工件內孔壁檢視與尺寸量測方式，最為普及之應用為內螺紋之檢測，各種被提出研究之檢測技術計有微探針、反射光、磁場變化渦流旋轉掃描與機器視覺等方式。在小型軸承加工研究過程中，欲檢測動壓軸承此類高孔深工件內孔壁加工特徵結構，傳統做法皆須將工件沿軸向對剖，方能完全對其內孔壁表面特徵溝槽進行檢視或施以表面形貌與尺寸量測，如圖二所示。

但是在進行剖開動作時，所應用之切割方法將對工件產生應力破壞或熱傷害，造成工件尺寸變化，而此種情況在微小尺寸之動壓軸承上將更為顯著的影響其量測結果。另外由側面斜角進行窺視之方式雖然不需進行前置剖面作業，但僅可應用於孔徑較大、孔深度較淺且內壁形貌起伏明顯之工件，如螺帽之內螺紋檢測，市面上相關檢測設備產品以及相關概念之專利[3]，如圖三(a)所示。另一方面，亦有以內孔椎狀反射鏡伸入孔內，搭配外部鏡頭進行影像擷取之架構(專利號I281019，元件通孔之量測裝置)[4]，如圖三(b)所示，預期可減少因傾斜取像造成之誤差。但由於此方法其光源與取像鏡頭皆是由工件外部一定距離外進行光線投射與取像，所設計運用之對象為一般螺帽等較大內徑工件之檢視；當面對孔徑小於3mm，軸承高度(孔深)大於6mm以上之3C產品常用尺寸之動壓軸承檢視應用時，將造成內孔椎狀反射鏡上之反射影像因孔內亮度不足與反射鏡錐面尺寸過小，造成外部鏡頭取像亮度不足與成像解析度不佳，為此法應用於小孔工件上之限制。

## 3. 軸承內孔壁加工形貌檢視模組開發

綜合上述，雖說現行自動化視覺檢測相關技術與元件發展相當成熟，但可直接應用於高孔深內孔壁形貌檢視之模組設備發展仍屬少見，也造成具有此類特性之工件如流體動壓軸承於製程研發階段或量產時，在檢測環節缺乏可予以應用之技術與模組設備，相對的影響到製程研發階段試驗之便利性以及量產階段產品品質穩定性控制能力。

### 3.1 內視鏡組之選用

檢視軸承內孔壁之工具，經評估以應用硬管光學內試鏡為最直接有效之方式，在機構上不需額外之結構支撐內視鏡管，並可達到一定之直度，採用之成本與取像清晰度亦較優於軟管及電子式之內視鏡。硬管光學內試鏡其結構與型式定義，如圖四所示[7,8]。而針對檢視軸承內孔壁面上所加工之溝槽形貌之功能要求，配合內視鏡型式可規劃分為：(A)直視角，由單軸移動方式運用內視鏡之廣角效果(0度視角)，同時間檢視到內孔壁環周面，完成整體檢視之時間較短，但不易觀察到細部區域，所檢視到之型貌大幅變形，適合用於快速檢視加工結果優劣與缺陷形式及其分布。(B)轉角視角，運用內視鏡之轉角鏡設計(視角大於0度)，可由單軸移動定位配合轉動方式完成內孔壁面局部之細部檢視，達到較細微之局部內孔壁面特徵形貌檢視能力。由同樣外徑內視鏡配合不同檢視角度來區分，視角越大(越接近90度)可視面積將因鏡頭與工件距離變小而縮小，但所達成檢視形貌變形則越小，視野越集中於局部區域，相對檢視呈現之放大倍率較高。

而運用其檢視變形量小，放大倍率高之特性，以90度視角最適合後續發展局部特徵尺寸量測應用；然而目前本研究因延用現有器材，僅有70度視角轉角內視鏡一組，因此係採用此規格進行平台建置測試。而在轉角內視鏡之外徑選擇上，則必須優先考慮到最小成像距離之限制，方能獲得最清晰之細部影像。

### 3.2 檢視平台機構設計

檢視平台之機構配置設計取決於檢視動作之位移需求，分別需能達成工件之平移位移與旋轉位移運動，而設計之重點除了考慮位移軸之設定外，尚須確保工件與內視鏡探頭位置尺寸之相對位置、平台之定位精度及位移解析度，方能在日後以此平台衍生發展尺寸量測功能時，具有以平台定位數值精密轉換為尺寸量測單位參考值之可能性，如圖五所示。

### 3.3 平台電控與檢視操作介面之開發

檢視平台之電控設計，依據所設定檢視動作之位移特性需求及採用之硬體元件，分別需能達成平移與旋轉兩軸之步進馬達脈波驅動，由於規劃功能中具有自動檢視動作，需要依軸承定義之路徑規劃進行平移

定位。

平台之脈波輸出控制方式選擇運用可程式邏輯控制器(PLC)作為控制平台兩組步進馬達所需兩組脈波訊號之波型產生器，並藉由RS-232C通訊格式連結PC與PLC使其送出所需脈波數訊號，以此架構取代習用之軸控介面卡控制驅動方式。而PLC模組本身尚可加入其他控制功能，作為衍生檢視平台模組其他功能所需。依功能規劃，整體檢視平台使用之元件與電氣訊號連結如圖六所示。

而在影像擷取之攝影機選用上，採用1394介面之數位攝影機搭配鏡頭連結內視鏡進行取像。選用此介面攝影機之考量在於不需額外配置影像擷取介面卡，即可應用PC常見之1394介面進行數位影像資料傳輸擷取，並可整合至模組人機與電控操作介面所採用之LabVIEW開發軟體環境。

### 3.4 軸承內孔壁溝槽加工形貌檢視模組雛型架設

依據前述功能性需求與規劃，設計與組立完成之動壓軸承內孔壁溝槽加工形貌檢視模組雛型架設如圖七與八所示，而相關組件規格詳列於表二。操作介面主程式頁面，如圖九所示，包括下列三項：

一、影像設定頁面：

本控制頁面之目的在於進行軸承內孔壁影像手動或自動檢視前，針對取像之範圍進行設定，俾使操作畫面中盡量將取像結果在有效範圍最大呈現。

二、影像擷取位置控制：

本控制頁面為檢視模組操作之核心，包含工件於報告儲存時之簡易參考資訊輸入、影像紀錄點設定與儲存位置設定、以及最重要之檢視動作操作設定畫面與動作按鍵。檢視平台操作功能按鍵列包含：

a. 原點復歸：平移軸之原點復歸動作，將平台移動回原點，並協助控制系統取得原點設定點，另亦藉此功能將平台歸位並進行被檢視工件之抽換。

b. 啟動點：將移動平台由原點移動至所設定之啟動點位置，再進行自動或手動之檢視平台移動操作。

c. 設定確認：進行所輸入位置設定數值之確認，將其輸入至位移動作所需脈波輸出轉換至計算函式，並藉由比對所輸入設定之工件長度數值驗算，避免輸

入數值錯誤造成撞機等誤動作。

d. 自動啟動：啟動檢視平台進行預先設定規劃之平移複合旋轉自動位移流程，並可搭配自動快照設定功能，於所設定A-F等六個位置點進行檢視影像自動儲存，完成後並可直接輸出於所產出自訂格式檢視報告HTML檔案。

e. 手動啟動：啟動檢視平台進行所設定位置之點對點位移動作。

f. 左/右寸動及正/反旋轉：單擊按鍵進行平台之平移軸左右寸動(單次0.1mm)與正反向旋轉寸動。

### 三、報告預覽：

本功能之目的在於針對影像檢視結果與工件資料，可經系統記錄產生一個HTML格式檔案，並在操作畫面中針對此檢視報告進行預覽。

而配合前述所開發之操作介面與功能規劃，系統之操作流程實現如圖十所示，而檢視模組平台之電控程序則依圖十一所示運行。

## 4. 檢視操作測試結果與討論

完成檢視平台架設與操作介面程式開發後，即運用此檢視平台進行動壓軸承內孔壁加工形貌之檢視操作測試，藉以修正與確認其功能性。此檢視操作試驗所使用之被測動壓軸承工件，係以電化學加工技術進行試驗加工之工件，內徑3mm，內周面溝槽設計為不等長人字溝槽，此工件並非正式之動壓軸承產品，但其溝槽特徵與正式動壓軸承產品之溝槽特性相似，可作為本平台測試之工件運用參考。而在此批電化學加工溝槽之工件加工實驗過程中，可發現溝槽加工因電化學加工參數設定不同、電極毀損與電解液流動不佳等情形而產生之溝寬變異、局部誤加工及表面品質不佳等現象。列出以0度與70度取像兩種操作模式，進行檢視操作試驗之部份取像紀錄結果，如圖十二所示。由檢視操作試驗之各項結果，可發現在0度視角此方式之單一檢視畫面中即可藉由鏡組之廣角效果，直接觀察到工件溝槽寬度及是否出現局部加工缺陷。而由圖十三所示之70度取像結果，雖然因鏡組品質與外徑搭配不佳等因素，造成可視範圍較小，反光情況較嚴重，但檢視之影像基本上仍可符合所需於觀察小範圍溝槽

加工特徵之應用。

從操作過程與檢視結果取像存檔觀察上，可歸納出下列幾項可再行改善加強部分：

一、由檢視平台上攝影機取像之螢幕顯示與存檔結果來看，取像畫質與色調不如預期清晰，而採用轉角鏡直接目視觀察之結果在清晰度上尚稱良好。歸納其原因，應該在於所採用現有之內視鏡與攝影機取像能力不如規劃時所預期。由於用於架設本平台模組之內視鏡組為權宜使用現有品，較為老舊，鏡組前端曾受磨損導致清晰度較差，且鏡管以往曾因操作失當導致彎曲，雖經矯正仍無法完全符合檢視所需直度，造成取像角度上有所偏差。日後若需提升本平台之檢視清晰度與取像角度偏差，以新購內視鏡組進行替換即可解決。在平台設計階段，皆已考慮到應用時若需更換不同規格或廠牌內視鏡所需之固定件與支撐座調整變化彈性。

二、另一方面，所使用CMOS型式攝影機其感光度、解析度與抗雜訊能力皆較不適用於此類低亮度與高解析之靜態取像應用，雖然以肉眼直接目視內視鏡取像時尚可清晰觀察，但連結至攝影機取像時則呈現較不理想之取像結果。

三、本模組平台之位移驅動控制，係藉由PC通訊連結PLC產生脈波驅動步進馬達之開迴路前饋控制方式進行，基本上經實際操作驗證與測試，雖符合基本操作所需，但本平台若要衍生發展精密量測功能，除了需要機器視覺量測技術之加入外，平台精密定位能力亦是重要之一環。而目前所選用之精密移動平台，視後續發展需求若加上回授控制，將可再提昇及精度與定位能力，應能符合尺寸量測功能發展所需。

## 5. 結論

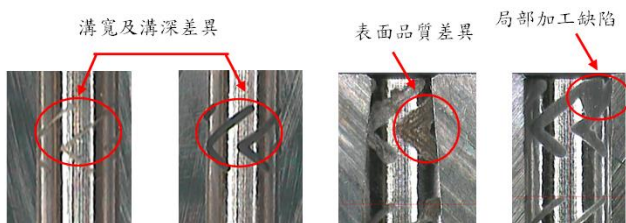
本研究主要針對小型頸軸承內孔加工形貌之各類可行檢測方法進行探討與評估後，設計規劃並建置具內孔壁加工形貌檢視能力之雛型模組，運用此模組可達成於動壓軸承開發時，對內孔徑3mm動壓軸承之內孔壁溝槽加工形貌進行檢視與資料數位化紀錄，不論是應用於製程研發階段對於加工成果之判斷與紀錄有極大之幫助外，亦可應用於其他類似結構工件孔內部

形貌之檢視應用。目前，本平台之檢視功能僅侷限於定性之缺陷檢視，無法進行定量之尺寸量測。但日後若能加上運用LabVIEW機器視覺開發套件提供之衍生功能，配合影像扭曲補償技術之應用與發展，或可運用於發展進階之內孔壁加工形貌尺寸量測功能，提升本模組之性能與附加價值。

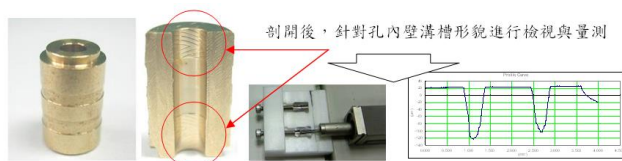
### 7. 參考文獻

1. 十合晉一，氣體軸承-從設計到製造，復漢出版社，台灣，1985。
2. 朱樹敏，電化學加工原理及電化學微細加工，精微電化學及放電加工技術研討會，金屬工業研究發展中心，2007。
3. 郭俊毅，五金零件檢測機，新型專利M261690，台灣，2004。
4. 林宜宏，元件通孔之量測裝置，發明專利I281019，台灣，2005。
5. [http://http://www.astro.com.tw/](http://www.astro.com.tw/)。
6. 劉俊延，內視鏡影像序列之形變校正與三維重構，成功大學資訊工程學系碩士論文，2003。
7. <http://www.yuanyu.com.tw/>。
8. <http://www.gradientlens.com/>。

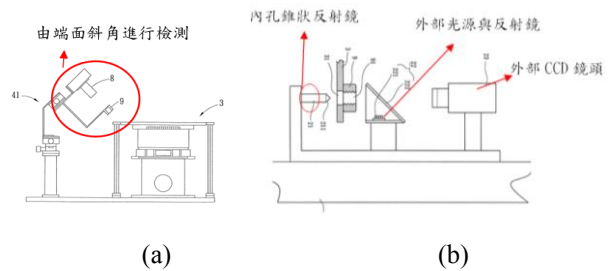
### 8. 圖表



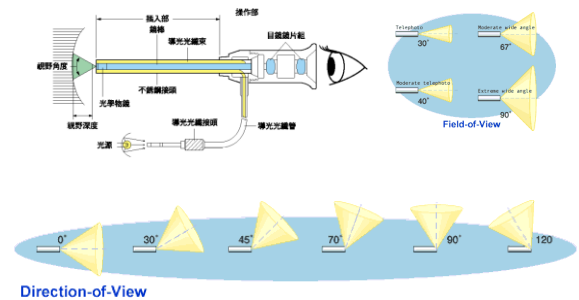
圖一 運用電化學加工方法進行孔內周面溝槽形貌加工之工件剖面，常見之數種加工缺陷。



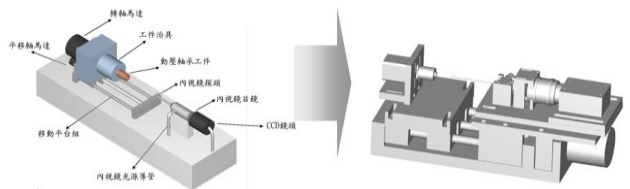
圖二 將工件沿軸向對剖，對其內孔壁表面特徵溝槽進行檢視或施以表面形貌與尺寸量測。



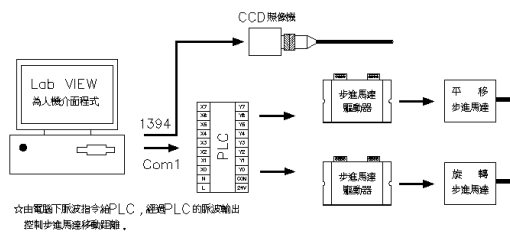
圖三 孔內壁檢測方法(a)專利，五金零件檢測機[3]  
(b)專利，元件通孔之量測裝置[4]。



圖四 工業用硬管內視鏡之架構，視野(F.O.V.)與視角(D.O.V.)定義之示意圖。[8]



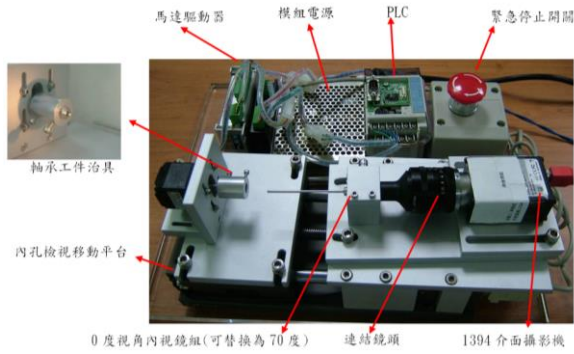
圖五 檢視機構平台之設計構想及最終設計組合圖。



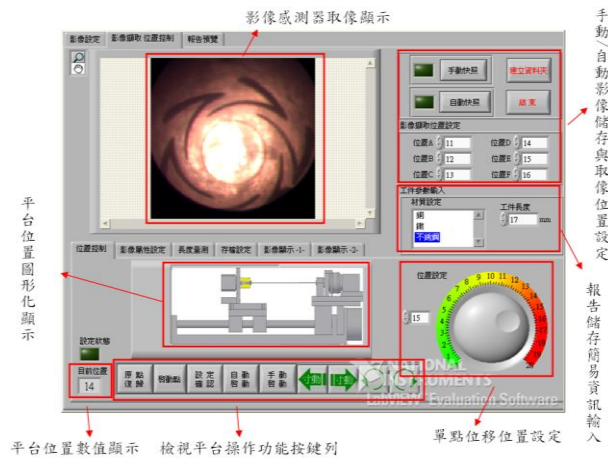
圖六 檢視平台電氣控制訊號系統圖。



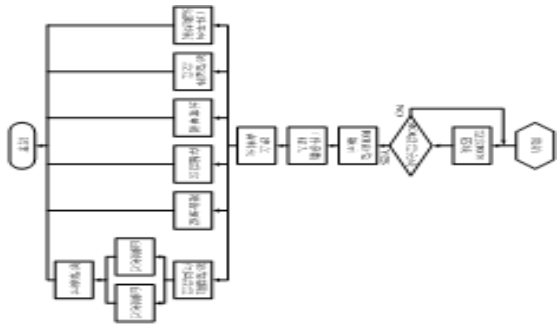
圖七 所設計架設之內孔檢視離型模組。



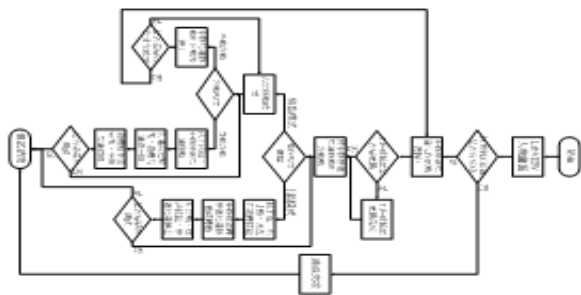
圖八 內孔檢視雛型模組機電平台與工件治具。



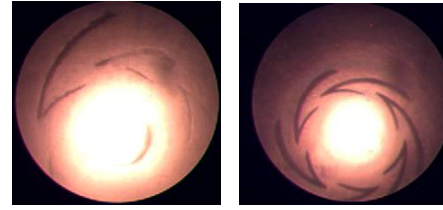
圖九 運用LabVIEW開發之內孔檢視模組操作介面。



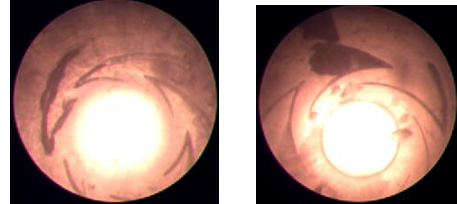
圖十 內孔檢視模組操作介面執行流程圖。



圖十一 內孔檢視模組平台電控程式流程圖。

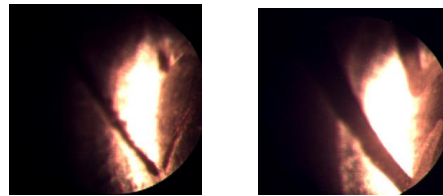


(a) (b)

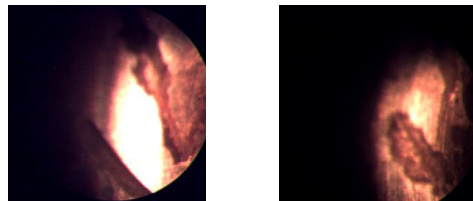


(c) (d)

圖十二 以所發展平台進行0度視角操作試驗之個別工件內環面檢視擷取畫面，分別為(a)較細溝寬，(b)較寬溝寬(c)溝槽缺陷，(d)局部缺陷。



(a) (b)



(c) (d)

圖十三 以所發展平台進行70度視角操作試驗之個別工件內壁面局部擷取畫面(a)較細溝寬，(b)較寬溝寬(c)溝槽缺陷，(d)溝槽缺陷。