

粉末冶金件自動光學檢測與瑕疵分類之機台開發

范光照
國立台灣大學機械系
fan@ntu.edu.tw

廖偉博
連鴻企業股份有限公司
alice@lenco.com.tw

陳智遠
國立台灣大學機械系
d93522025@ntu.edu.tw

陳守恒
國立台灣大學機械系
d94522020@ntu.edu.tw

摘要

光學影像檢測技術已應用在眾多領域。但是對多孔性粉末冶金件的自動化光學檢測一直未有泛用性的技術建立，造成國內以訂單生產且少量多樣的粉末冶金產業，至今仍以人工目視方式檢測，此方式既耗時且容易因為人為因素和疲勞等而造成錯誤。而利用光學影像檢測系統以取代傳統的人工檢測，不僅速度快、價格低廉，且檢測準確度高，常用於生產線上即時檢測。本研究以光學影像檢測系統的中各種常用的影像處理方法，針對粉末冶金件之多孔性特性，與其所產生的瑕疵進行分析，開發出符合製程需求的檢測系統，並以粉末冶金件中之軸封環作為應用例子，進行本研究之系統與軟體開發。本研究嘗試建立一組泛用性較高的自動化光學檢測技術，並根據瑕疵檢測方法中的混合法配合影像處理，建立自動瑕疵分類技術，以期改善製程的品管水準。

關鍵詞：自動光學檢測、粉末冶金、自動瑕疵分類、影像處理

壹. 前言

粉末冶金製件隨著成形壓力不同，形成密度高低不一的生胚，經高溫燒結程序後，因結合劑揮發所造成的孔穴會導致最後的燒結件形成一種多孔性的組織。其表面結構、光澤等均不同於一般直接以切削加工所獲得的零件。雖然市面上有少許專用機種可對生產線上 1~2 種產品以光學檢測法進行機械視覺的檢測，但是對近 95% 以上的中小型企业或少量多樣的大型企業而言，實無應用效益及價值。因此，工業界目前幾乎是以人工目視方法進行粉末冶金零件外觀瑕疵的檢測，不僅易造成人為誤差而影響產品的品質，同時需耗費大量的人力。因此，建立一套自動光學檢測技術，對大量生產的產品檢測而言實有其必要性。

國內外以機器視覺 (Machine Vision) 的影像處理技術應用於自動檢測系統的研究頗多，例如，1980 年 D.Marr[7] 提出影像邊界偵測理論，在 1986 年 J.Canny[8] 提出另一種影像邊界偵測演算法。1983 年 Yasuhiko Hara[10] 等人利用視覺系統，對印刷電路板局部特徵，依照樣板比對，找出印刷電路板之缺陷。

在蓬勃發展的 IC 晶圓相關元件的檢測上，Arye Shapir[6] 對工業需求的晶圓 [Wafer] 建立各項瑕疵自動分類法則。Michael [9] 使用視覺技術，對電路與非電路以自動光學比對檢測缺陷，適合於大量生產之產品，在最短的時間內改善缺陷、控制產量。Shunji 等人[11] 對 LSI Wafer 多層固樣，採用分段檢驗抽取出缺陷。邱亦契[1][2] 以神經模糊理論為基礎建立半導體導線架瑕疵分類法則。同時也應用機械視覺技術在印刷電路板焊墊尺寸量測的準確性。1997 年蘇慶華等人[3] 應用數位影像處理技術於二維形狀之尺寸及幾何公差量測，以達到量測自動化及增進量測準確性。以上研究大多針對單一形式或表面組織均勻的零件為研究對象，因此，對少量多樣變化的生產架構，其實用性就大為降低。

綜觀上述相關研究成果，如何整併現有影像處理發展技術，配合多孔性粉末冶金製品特性，建立一套較具泛用型影像瑕疵檢測演算法，將可有效提供業者解決產品品質檢測上的相關問題。

貳. 檢測機台與光學影像系統

本研究所建構的自動化光學檢測系統在硬體方面由輸送控制系統與光學影像系統所組成，透過 PLC 控制器與個人電腦將各組件相互連結，提供完整的自動化光學檢測硬體設備。

一、輸送控制系統

輸送控制系統包含：

1. PLC 程序控制器，整合各式的輸出與輸入，用以控制其他硬體的作動時機。
2. 震動盤，控制工件的進料速度。
3. 輸送機構，透過馬達配合輸送帶，將進料後的工件以等速移動，並通過光學影像檢測系統進行檢測，最後將良好的工件送至出料口。
4. 光電感測器，透過非接觸式的光電感測器，感測工件經過的時機，給予攝影機觸發信號，擷取影像。
5. 物料翻轉機構，將工件翻面後，提供影像系統進行零件背面檢測，在本研究中提出一無動力式翻轉機構，透過前段與後段平台的高度差，配合導引機構將工件進行翻面。
6. 推料氣壓缸，當判斷出瑕疵工件後，透過電腦與 PLC 的信號輸出，給予氣壓缸充氣的時機並移動推料桿，將瑕疵件從輸送機構即時移除。
7. 另外在整體結構上還需要配合進料定位機構，使其正確的定位在光學影像的視野範圍之內、出料口、退料導槽、可調式攝影機與光源固定架，使其能夠正確的將鏡頭軸向與輸送帶的水平面保持垂直，並調整光源使其照射在工件上時，能夠保持其光線的均勻性。

二、光學影像系統

光學影像系統包含：

1. 兩台高速(60fps)/高解析(780x580 pixels)IEEE 1394 CMOS 攝影機 (FOculus)，為了達到快速的檢測目標，於檢測過程將不會停止工件的移動，因此攝影機必須具備高取像速度，以便在工件行進間擷取到良好影像，以利後續的軟體分析，同時利用 IEEE 1394 介面，將不用額外增加影像擷取卡，可更彈性化的規劃影像系統。
2. Telecentric 鏡頭，能夠有效的降低像差所造成的影像失真，以及由於工件的高度，造成計算工件尺寸大小時的誤差。
3. 白光 LED 同軸投射光源，提供穩定與均勻的照明。

照明(Illumination)是自動化光學檢測應用上相當重要的一環，尤其對尺寸、輪廓特徵、瑕疵等檢測更是如此。投射光源設計的主要目標在於提供適當的物件反射光源，促使攝影機攝影機能獲取一幅最佳的影像，使待測件尺寸、特徵等能清晰的從背景中突顯，以有效降低系統誤判機率及提高系統運算效率，縮短影像處理程序。

一般常見用於工件表面的照明方式如圖 1 所示有：前照式(Front Lighting)及側照式(Side Lighting)兩種。隨待測件種類、表面特徵及瑕疵檢測需求項目的不同，在光源種類選取上會有不同的選用組合方式。本系統基於待測產品特性及瑕疵檢測項目需求，採用 LED 型投射光。因其使用壽命、消耗能量、品質及效能都具較佳特性。對多孔性粉末冶金件檢測而言，工件具有表面上的瑕疵，側向光源無法清楚的顯示工件表面的各式瑕疵，例如表面的微小刮痕。如圖 2(a)所示，對於表面的瑕疵，對於突出的表面瑕疵可以顯示，但是凹下的表面瑕疵無法產生有效的影像，因此其並非合適的照明系統。使用前照式的方法中又分為低角度擴散光與正向同軸光形式，在多孔性粉末冶金件的瑕疵中，有些瑕疵非常的細微例如刮痕，如果只是單純使用低角度擴散光源，其瑕疵將不容易被凸顯。如 2(b)圖所示，低角度擴散光源雖然對於多孔性的特徵會產生有效的過濾作用，但是同時也由於其光源的擴散特性，會使得微小凹痕的特徵被消除，如此將會增加後需軟體分析的困難。因此於本研究當中，選擇使用同軸光源，如圖 2(c)所示，即使是微小的刮痕也將會被突顯出來，雖然表面孔洞特性也會顯現，但是透過光源強弱與鏡頭光圈大小，並配合後續簡易影像演算法的過濾，將可以有效的針對微小凹痕進行分析。

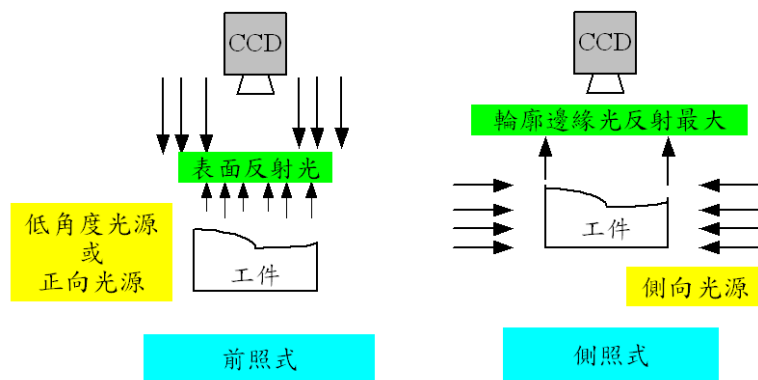


圖 1:兩種不同照明方式示意圖

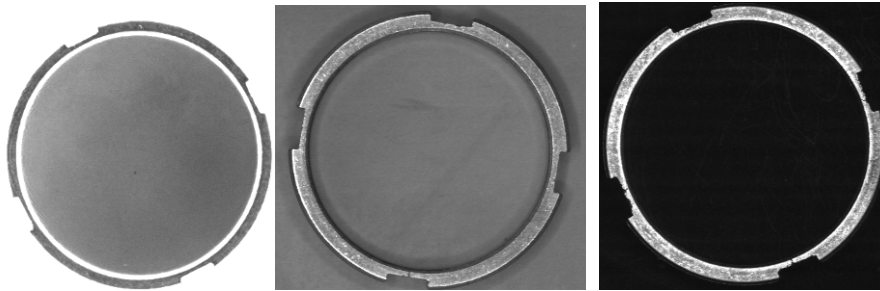


圖 2:各式照明圖(a)側向光源照明圖(b)前照式擴散光源照明圖(c)前照式同軸光源照明圖

三、機台架構與運作流程

本系統整體架構示意圖如圖 3，待測件可由震動送料器，整列裝置逐一送到輸送帶上，由輸送帶移動到攝影機及光源下方之檢測區域（ROI, Region of Inspection）時，光電感測器產生 TTL 之觸發信號，使自動化光學檢測系統自動取像、分析及判斷是否合格。此系統對不良品會產生一個觸發信號，促使氣壓缸作動，將不良品由側面導槽剔退，對合格件則直接由輸送帶送到尾端的工件翻轉機構完成翻轉及預備至下一站進行反面瑕疵檢測。如圖 4 所示為自動化光學檢測系統流程。

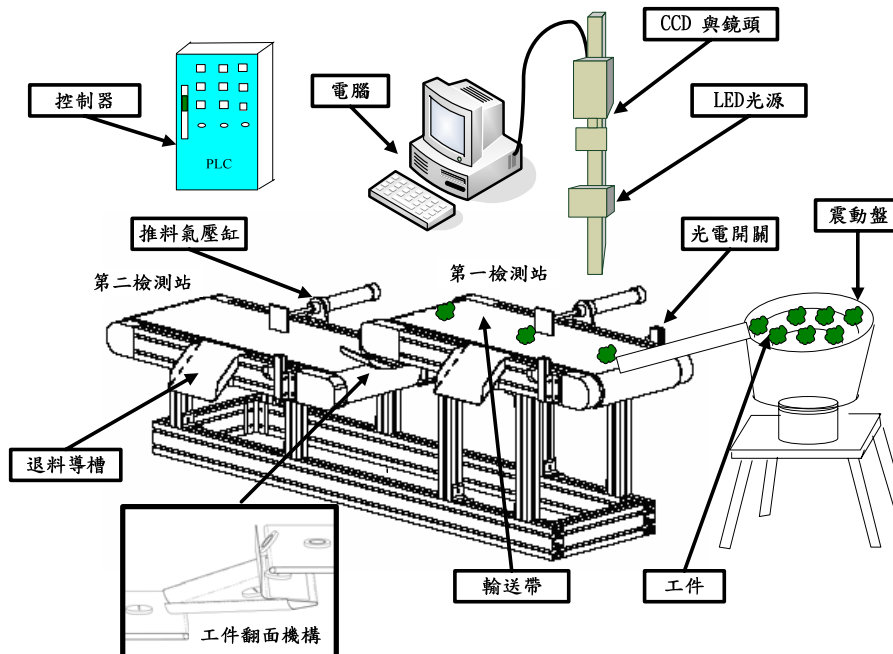


圖 3:系統整體架構示意圖

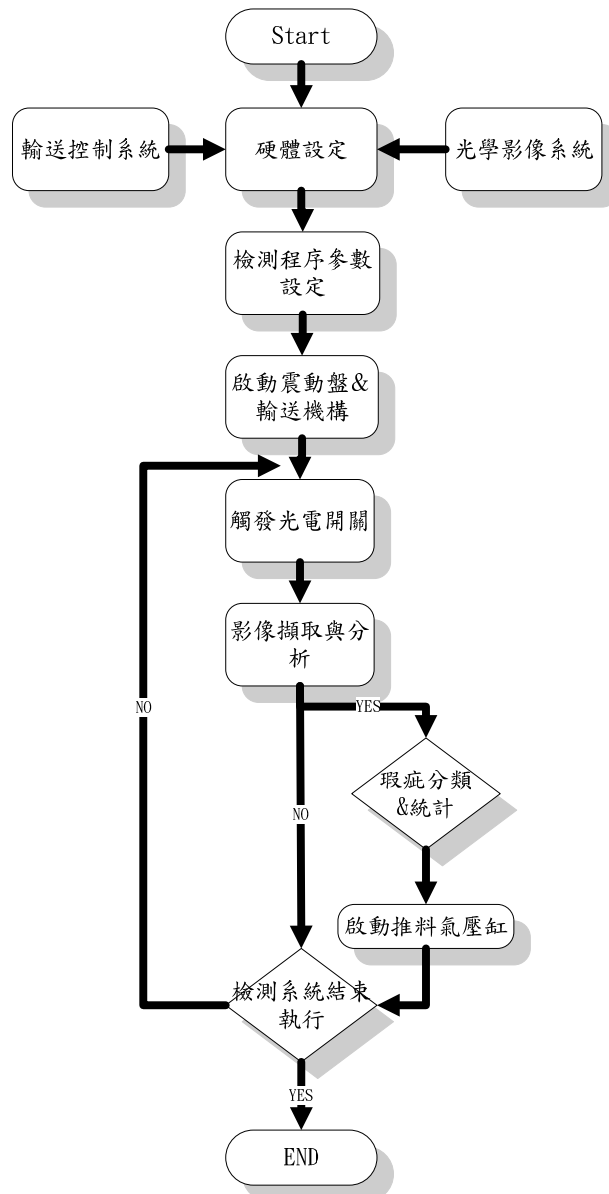


圖 4:自動化光學檢測系統流程

參. 粉末冶金瑕疵檢測

光學影像檢測系統除了檢測出物體的瑕疵，以控制生產線上的產品品質外，更進一步的可以識別出瑕疵的種類，統計並分析製程上的缺陷，改善製程上的缺失。一般常用的分析瑕疵方法可分為兩大類，第一類為將待檢測影像和一個無瑕疵的參考影像做比對，尋找出瑕疵所在區域；第二類為將要檢測的物體依其特徵或設計規則建立一個描述無瑕疵影像的規範，檢測待測影像中的所有物體是否符合其規範，這兩大類可以分成以下幾種方法[4]，(1)參考件比對法(Reference Matching)(2)設計規則法(Design-Rule Based Methods)(3)混合法(Hybrid Methods)。

由於粉末冶金的表面多孔特性，本研究無法採用參考比對法，另外，設計規則法無法適用於多種樣式的零件。因此本研究基於對粉末冶金瑕疵的分析，採用混合法來進行演算法的設計，並將瑕疵自動分類，提供製程統計分析資料。

一、粉末冶金件之軸封環瑕疵

粉末冶金瑕疵的發生主要在於送料，整列、搬運、燒結、精整等過程中。一般粉末冶金件最常見的瑕疵種類於[5]中有詳細介紹，在本研究中，以粉末冶金件中的軸封環為研究主體來介紹瑕疵種類。

在軸封環上的瑕疵分類可為四大類：

1. 裂縫：一般為零件表面、邊緣等因燒結時內應力不均勻釋放，導致軸封環於最薄處裂開，如圖 5(a)。
2. 刮痕：成形模具的磨損，退料機構刮傷或生胚疊合搬運、燒結等因素導致軸封環表面有細微刮痕，如圖 5(b)。
3. 破洞：模具表面有硬顆粒沾黏，生胚碰撞，結合劑聚集，或燒結後零件黏著而需藉外力分離所造成的表面顆粒剝離，使工件表面有大範瑕疵，如圖 5(c)。
4. 崩角：因生胚件相互碰撞、加壓成形時粉末填充不均或尺寸設計不佳造成退模時生胚崩角，造成軸封環於瑕疵邊角上不若其他邊角具有一致的角度，如圖 5(d)。

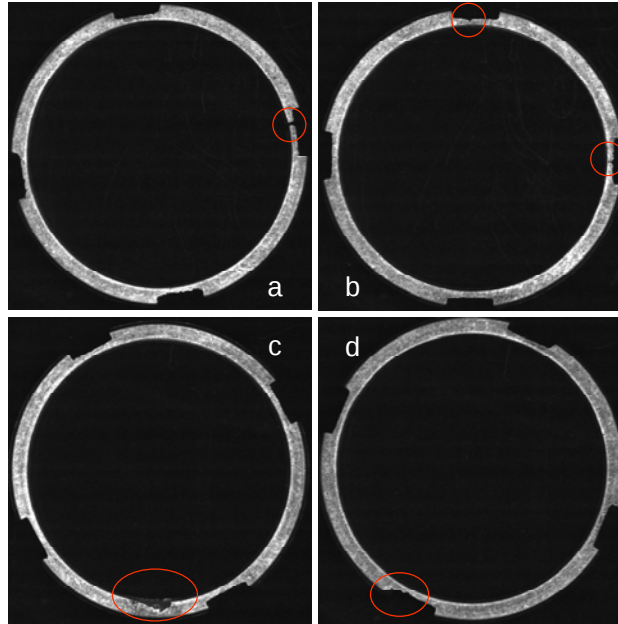


圖 5:軸封環各類瑕疵(a)裂縫(b) 刮痕(c)破洞(d)崩角

二、軟體檢測流程

目前 IC 與 PCB 自動光學檢測技術，首要步驟必定要有一標準樣版(Golden image)，提供軟體學習必要的資訊以進行後續瑕疵判別的標準，而粉末冶金件瑕疵檢測基於以下兩點，因此不使用標準樣版來學習，執行影像比對的動作，(1)機械定位困難：粉末冶金件形狀多樣化，難以利用機械做粗定位的動作，並且不易在工件上製作定位標誌，達到精定位的目標；(2)軟體定位：利用軟體抓取工件特徵，做影像平移、旋轉後與標準樣版比對，圖像旋轉後影像容易失真，造成比對上的困難，因此市面上的自動光學檢測機台較少利用軟體定位的方式。在本研究中，並不執行定位的動作，瑕疵檢測的方式是採取工件特徵攫取，計算工件幾何尺寸與形狀的誤差，利用閾值的概念，找出瑕疵位置。

軟體檢測流程如圖 6 所示，包含學習、破洞偵測、裂縫偵測、刮痕偵測與崩角偵測，學習時首先擷取正常工件影像，經二值化、邊界搜尋、點分群等影像處理動作，將各個幾何特徵點群分離，計算外圓半徑、中圈半徑、內圓半徑與二值化閾值等，作為線上瑕疵偵測時的參考資訊。擷取到所需資訊後，即可開始線上檢測，為了加快檢測的速度，檢測流程的制定，以影像處理方式不互相影響為原則來擷取各個瑕疵判斷所需的點資訊，並優先檢測易判別的瑕疵種類，如果不需判別出工件上所有瑕疵種類，則可加快瑕疵件的判別速度。

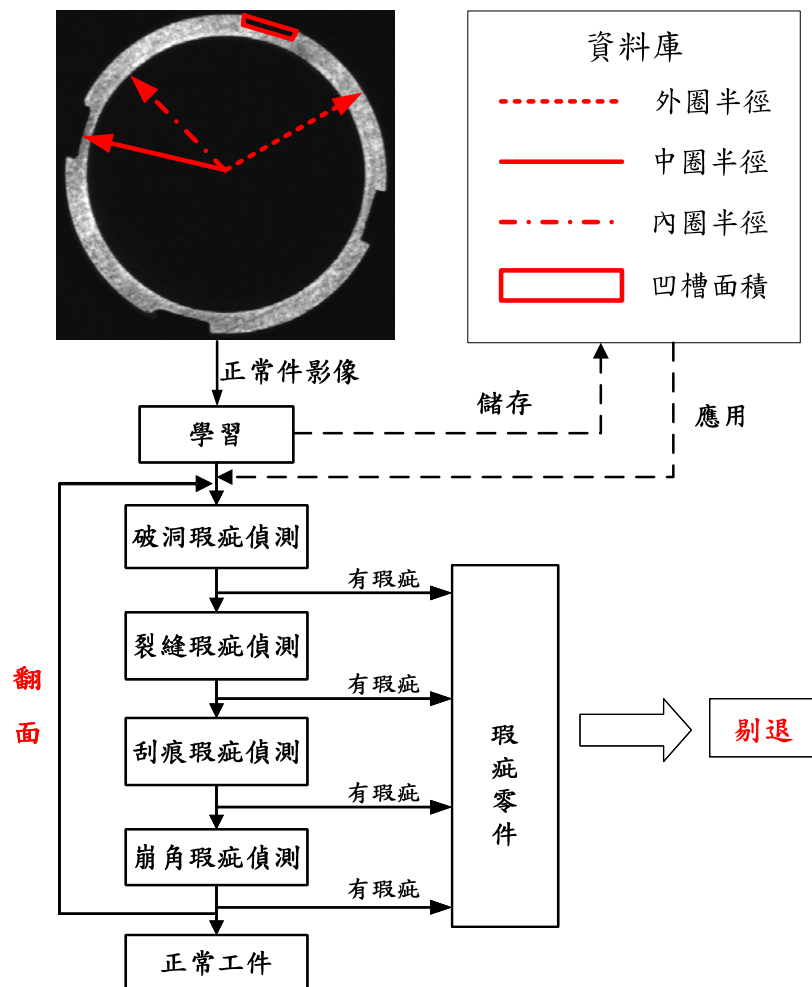


圖 6:軟體檢測流程圖

二、自動瑕疵分類

自動瑕疵分類(Auto defect classification, ADC)是目前 IC 產業與 PCB 產業所急需的自動光學檢測功能，目的是將所有瑕疵分類，而不再只有找出瑕疵工件。不同的瑕疵所造成的原因不同，得知工件上的瑕疵位置、瑕疵種類與各瑕疵種類工件的統計數目，有助於廠商去尋找製程中哪一個環節出錯，是否有需改進的部分。

目前市面上的 AOI 機台大多不具有自動瑕疵分類的功能，主要是由於要判別出瑕疵的種類不但具有一定的困難度，每種瑕疵的判斷法則也必須個別獨立，如此一來將大幅降低瑕疵檢測的速度，對於業者來說，目前檢測速度與瑕疵檢出率是他們最重視的兩項指標，找出瑕疵位置後再交由人工判讀瑕疵種類，但人工分類方式既緩慢也有出錯的可能性，因此發展自動瑕疵分類是有必要性的。本研究將針對軸封環工件，發展自動瑕疵分類技術。

(一)標準工件影像前處理與學習

影像前處理是影響後續特徵資料擷取是否準確的關鍵，本研究將建立區域導向的影像分割技術，主要是將待測件輪廓與背景兩者分離的技術，主要是希望獲得待測件的輪廓、邊緣、面積等相關尺寸資料，一般可利用自動閾值法獲取影像特徵臨界值，再進行影像的二值化處理及孤立點清除，達成影像與背景的分離目的。但由於粉末冶金件的瑕疵佔總工件的比例非常小，與工件表面多孔性的特性，自動閾值法取到的閾值，並不一定是最佳的閾值，如圖 7 所示，三張圖所取的二值化閾值分別為 27、55 與 44，最大與最小相差僅 28，閾值太小會造成導角部分因些微反光而被取出，增加邊緣擷取的困難性，而閾值太大則因材質表面多孔性的關係而出現許多黑點，因此取得正確的閾值是十分重要的，

因此我們先使用自動閾值法獲取二值化影像，再利用 8 鄰邊點分群技術計算影像黑點與白點群數，利用這兩個數值來微調閾值，找出最佳的二值化閾值。尋邊後可以得到完整的邊緣輪廓，即可進行尺寸資料的計算與記錄，提供後續瑕疵判別的依據。

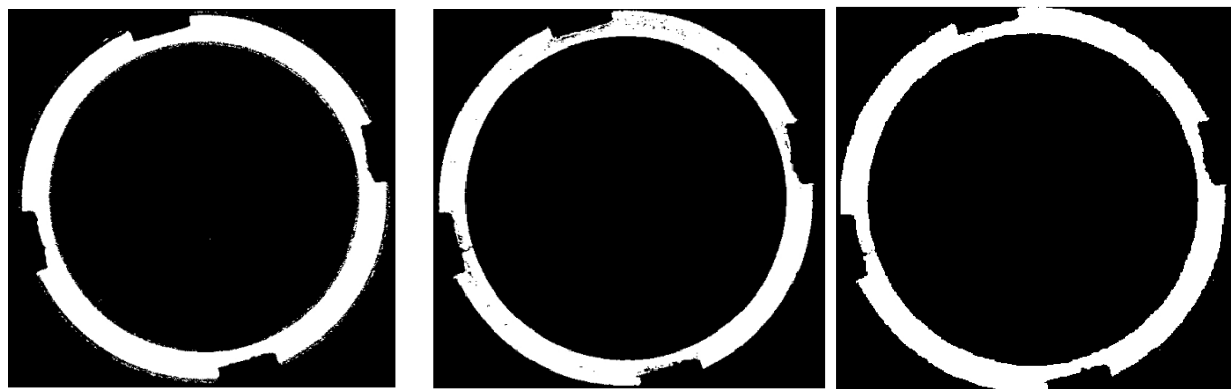


圖 7:不同二值化閾值之結果，閾值(a)27、(b)55、(c)44

(二) 軸封環瑕疵檢測

瑕疵分類主要是依據瑕疵本身所具有的特徵來分類，應用物體相關特徵值比較法有助於物體瑕疵的檢測，常用的特徵包含長度、角度、面積、直線度與真圓度等等。根據軸封環的四種瑕疵特徵，我們可將之分類如表 1 所示。

表 1:瑕疵特徵分類表

瑕疵種類	破洞	裂縫	刮痕	崩角
物體相關特徵	面積	真圓度	直線度	角度

決定各種瑕疵的判別方式後，瑕疵特徵擷取是影響判別率的重要關鍵，以下將分別介紹各種特徵的攫取方式。

1. 破洞瑕疵工件影像經二值化與物體、背景分離處理後，取得 4 個凹槽面積，假設工件上有破洞，凹洞處灰階值會比物體低，也可順利將它分離出來，如圖 8 所示，(a)圖為正常件、(b)圖為破洞瑕疵件取像與影像處理後的情形，接著比對點群面積，即可判別出破洞瑕疵。

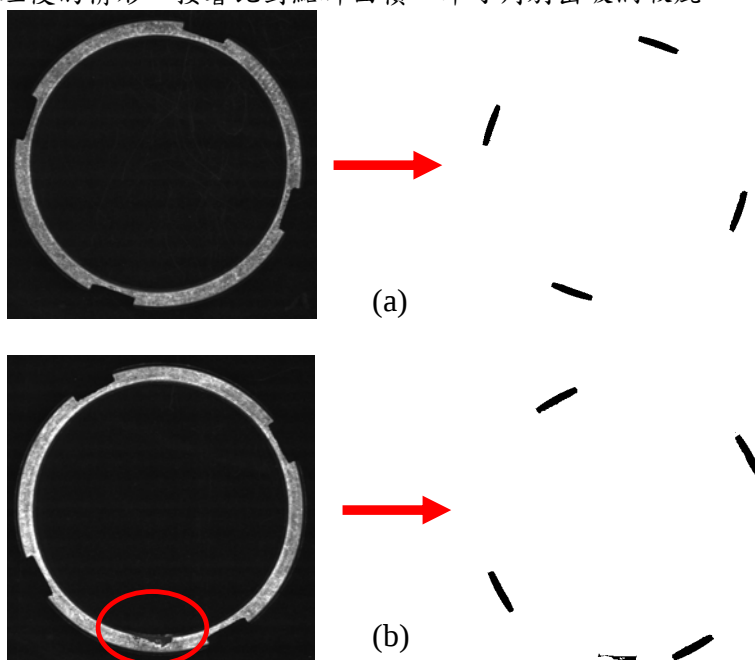


圖 8:破洞瑕疵判別方法示意圖，(a)正常件、(b)瑕疵件

2. 裂縫瑕疵工件影像經二值化與尋邊處理後，取得工件的邊緣點，圖 9(a)為正常件、圖 9 (b)破洞瑕疵件取像與影像處理後的情形，正常工件之點群為 2 群，裂縫工件可能有兩種情況產生，完全裂開

與部分裂開，完全裂開的內外點群會相連而變成一群，部分裂開情形則可利用最小平方法嵌合圓，並計算圓的真圓度，真圓度過大即可判別為裂縫瑕疵。

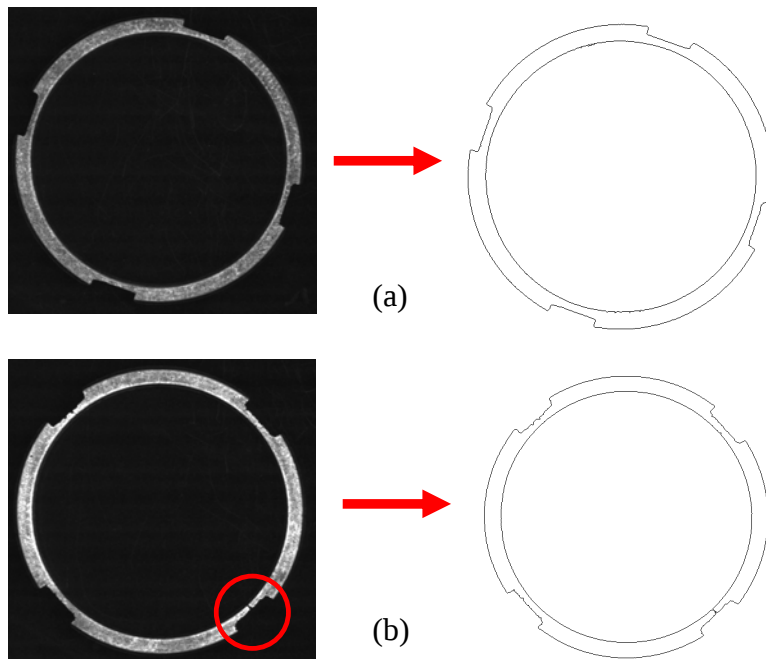


圖 9:破洞瑕疵判別方法示意圖，(a)正常件、(b)瑕疵件

3. 刮痕瑕疵的產生結果為工件表面淺層材料被去除，因此即使由人工來作檢測，也必須透過不同角度的光線觀測，才能夠觀察出來，因此這類缺陷容易在人工檢測時產生誤檢的情形。軸封環的刮痕缺陷產生位置，都集中於凹槽部位，非常類似裂縫的產生，但是差別在於其在二值化中所產生的缺陷，無法於裂縫檢測中圓形嵌合部份產生夠大的影響，因此無法由嵌合圓來辨識。如圖 10(a)，刮痕缺陷主要是在於凹槽的直線段產生波浪般的起伏，較明顯的缺陷會產生 Y 型的缺陷圖形，因此檢測的方式如圖 10(b)針對此凹槽的直線段進行直線嵌合，當產生波浪形或著 Y 型缺陷圖形時，缺陷段的點，會於所嵌合的線產生較大的偏差，圖 11 為檢測過程的直線度判斷，透過對各凹槽直線段的部位檢測，將可判斷出是否有瑕疵。

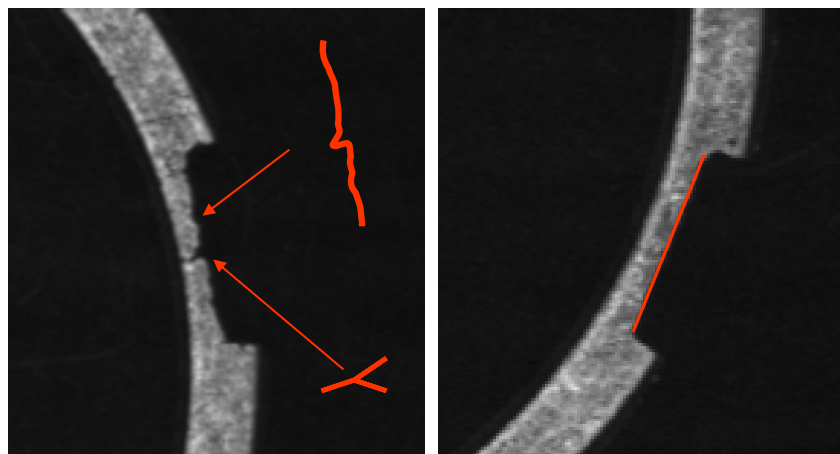


圖 10:刮痕缺陷放大圖(a)瑕疵工件缺陷圖形(b)良好工件直線段

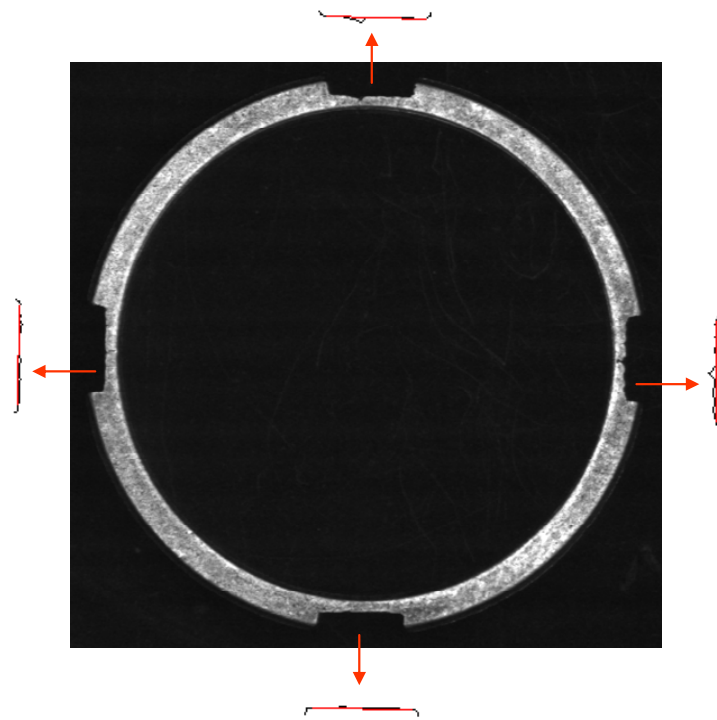


圖 11:刮痕瑕疵檢測圖

4. 由於崩角瑕疵特徵非常小，因此取得的特徵點要非常精準，要避免將瑕疵部位刪除或留下不必要的邊緣點資料，將崩角瑕疵工件影像經二值化與尋邊處理後，並刪除內圈點，處理結果如圖 12 所示。崩角瑕疵所要擷取的凹槽邊緣線段非常短，且由於工件本身真圓度不是很好，如利用外圈半徑與中圈半徑學習值來刪除多餘的點資料，常常會有刪除太多或留下太多不必要點的情形而造成誤判，因此我們計算圓心到邊緣點的距離後，利用統計的方式列成圖表，如圖 13 所示，圖中可清楚看到 3 條線段由左至右分別為中圈點群、凹槽邊緣點群與外圈點群，利用線段分離方式找出中圈點群與外圈點群，由於線段轉角處難以歸屬，因此取一公差帶將兩個點群與轉角處的點去除，如圖中虛線線段範圍，去除後即可留下 8 個凹槽邊緣線段，如圖 14 所示，將圓心與線段兩端點連線，如圖中虛線線段，並計算角度值，與學習值比對，超過一設定值即可判別為崩角瑕疵。

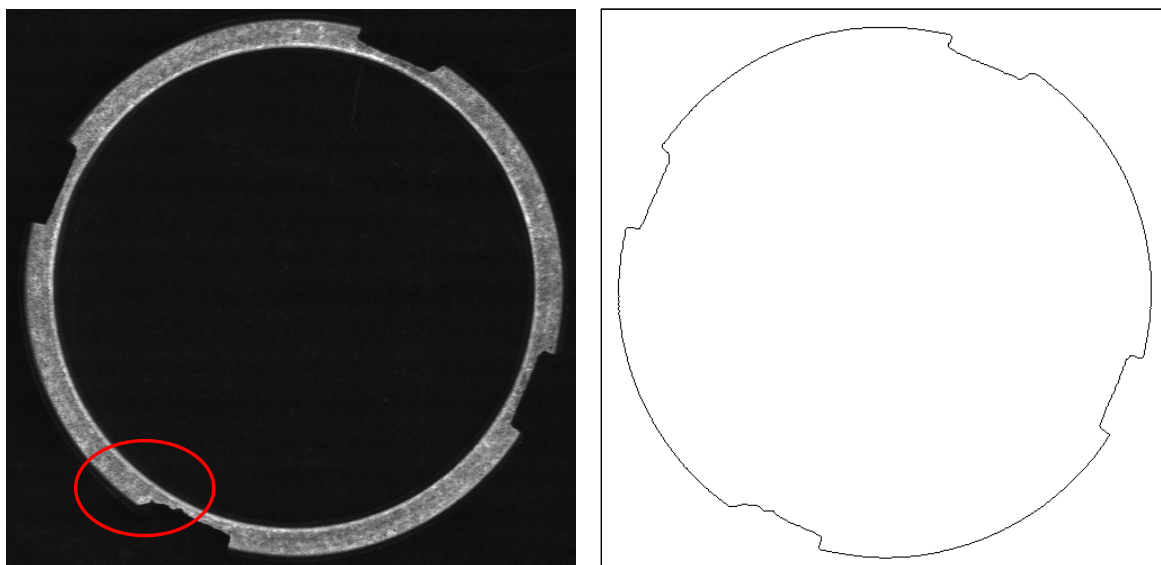


圖 12:崩角瑕疵檢測前處理結果

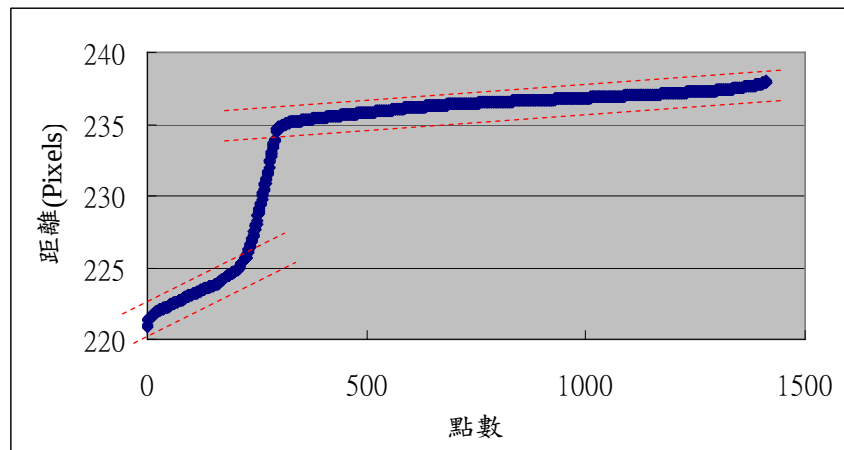


圖 13:外圈點與圓心距離統計圖

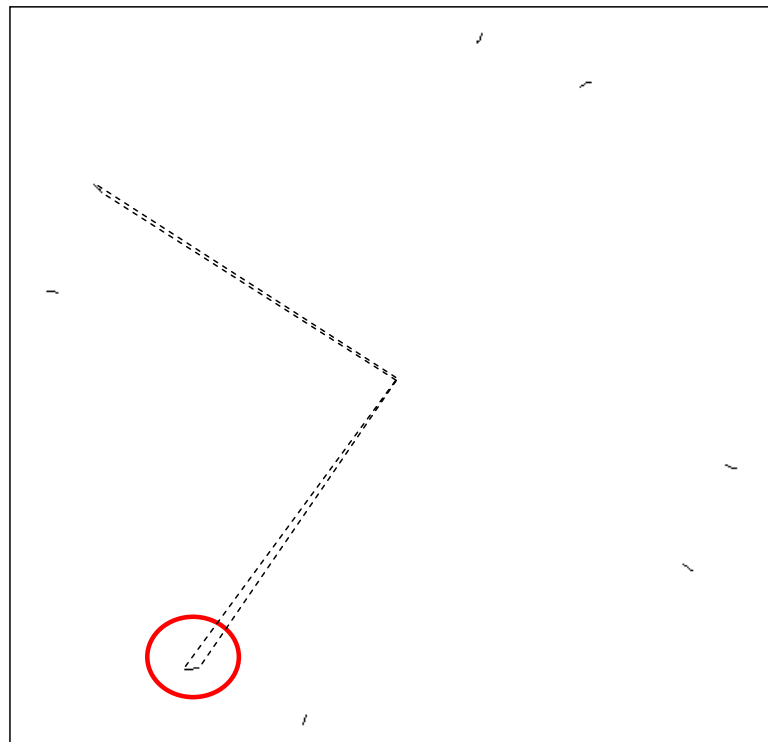


圖 14:崩角瑕疵判別方法示意圖

肆、結果與討論

透過同軸光源的投射，可使影像輪廓與表面細微瑕疵都保有清晰影像。於實際檢測之前，透過影像的輔助來調整 CCD、光源與工件之間的相對位置與角度，確保取像位置與角度正確、光源均勻，利於影像瑕疵的檢測。於參數調整方面，根據上述瑕疵分類方法，每一種瑕疵判斷法則都是根據表 1 的特徵加以計算，因此對於每種瑕疵都有其量化的指標。透過人工的判斷挑選出最低可接受的工件，透過軟體的瑕疵檢測，將其參數修正後更新至相對應的工件資料庫中。在對於不同尺寸的類似形狀工件，根據相對應的量化參數與學習動作，都可以在同一程式中加以檢測。

本系統在實際線上測試時，透過人工仔細篩選出 100 件無瑕疵工件與瑕疵的工件 100 件。首先針對無瑕疵工件進行測試，在進行了五組測試後，所檢測的不良件分別為 8、6、7、7、6，平均值為 6.8，數據如表 2。會檢測出不良件的主要原因在於參數設定嚴格與否上，且不良件的種類都集中在刮痕瑕疵。接下來對於瑕疵件進行測試。同樣進行五組的測試，其結果如下圖 15 所示。在破洞與裂縫的瑕疵中，由於其瑕疵非常明顯，因此無誤判的現象。誤判的情況發生在崩角瑕疵與刮痕瑕疵，整體的誤

判率為 7%。於此實驗中，同樣發現刮痕瑕疵的誤判率較為明顯。在這兩種實驗中，由於刮痕是所有瑕疵中最細微的，即使透過人工辨識上，其結果也是最具爭議的。因此在刮痕瑕疵參數的設定上，隨著參數的不同，此兩種誤判比例將會相對性的變化，此方面可根據使用者的需求進行調整

粉末冶金件每批量大約為數仟到數萬，甚至數十萬個產品而言，原本都須依靠人力目視進行全檢的工作，若透過本系統自動檢測篩選，對於人為目視檢測造成的誤差將大為減少，且每次的檢測品質統一。尤其對不銹鋼等高反射率的工件而言，眼睛因光源反射易造成疲勞進而產生檢測誤差的情況大為減少。本研究透過軟體設計與機台整合，以軸封為研究對象，成功發展出具有自動辨識與分類之瑕疵檢測機台，如果應用此機台於粉末冶金件的瑕疵檢測，如此可確保出貨時的工件品質，降低人力成本，提升出貨速度。在未來的研究上，將會針對更多種類之粉末冶金工件進行分析，以期能夠擴大其應用與發展。

表 2:正常工件誤判率

組別	1	2	3	4	5	平均
誤判率 %	8	6	7	7	6	6.8

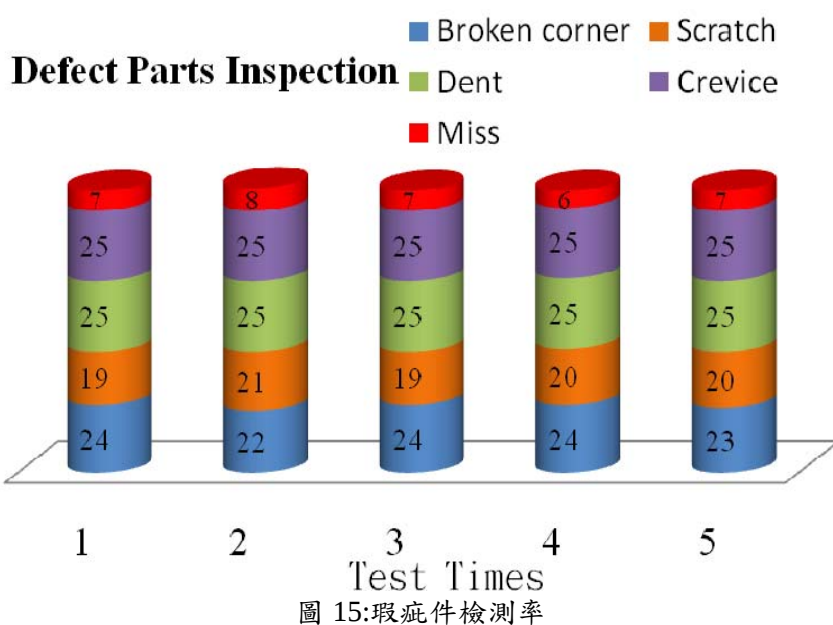


圖 15:瑕疵件檢測率

伍. 文獻回顧

- [1] 邱亦契、陳易泰、邱柏誠 (2000): 以神經模糊理論為基礎之導線架瑕疵分類法, 第七屆機械工程研討會論文集, 378-386。
- [2] 邱亦契、陳易泰 (2000): 印刷電路板焊墊尺寸量測之研究, 2000 PCB 製造技術研討會論文集, 110-117。
- [3] 蘇慶華、黃維信、賴景義(1997): 數位影像技術於尺寸及幾何公差檢測之應用研究, 第十屆全國自動化科技學術論文研討會論文集, 371-378, 1997。
- [4] 劉建宏(2002): 光學影像檢測模組之開發與應用, 台灣大學機械系研究所碩士班論文。
- [5] 龍清勇(2002): 國內粉末冶金產業製程技術改善之研究, 台灣大學機械系研究所博士班論文。
- [6] Arye Shapiro(1996). Automatic Classification of Wafer Defects: Status and Industry Needs. *IEEE/CPMT Internal Electronics Manufacturing Technology Symposium*. 117-122.
- [7] D. Marr ,E. Hildrethv(1980). Theory of Edge Detection. *Proceeding Roy. Soc. London*, 187-217.
- [8] J. Canny (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-8, No.6, pp.679-698.
- [9] Michael E. Scaman, Laertis Economikos(1995). Computer Vision for Inspection of Complex Metal

- Patterns on Multichip Modules (MCMD-D). *IEEE Transactions on Computer, Packaging, and Manufacturing Technology-Part B*. Vol.18, No.4.
- [10] Yasuhiko Hara, Nobuyuki Akigama, & Koichi Karasaki (1983). Automatic Inspection System for Printed Circuit Boards. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-5, No.6, 623-630.
- [11] Shunji Maeda, Hitoshi Kubota ,&Hiroshi makihira (1990). Automated Visual Inspection for LSI Wafer Multilayer Patterns by Cascade Pattern Matching Algorithm. *Systems and Computers in Japan*. Vol.21, No.12.