

陣列式超音波原理

新時代檢測有限公司 / 李宗倫



一、前言

陣列式超音波為使用多晶片，不同激發與接收的延遲時間並依據惠更斯原理來產生不同波前行進波式的原理。因此陣列法之音束可以利用電子式的加以操縱，掃描並聚焦。由於掃描角度以電子式加以改變掃描，所以對於各種缺陷的角度都可以有某一適當的角度來與可能的缺陷方向成垂直，以得到最佳的反射量與檢出能力。

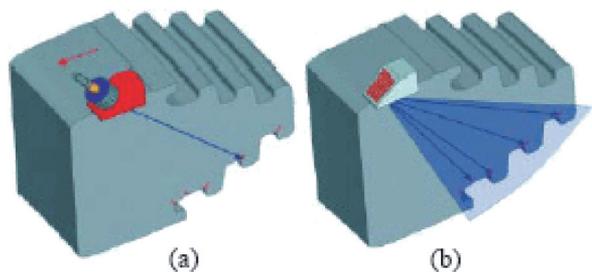
二、陣列式超音波的特色

相位式陣列超音波技術在非破壞檢測應用的發展主要受到一般性設備與發電設備之特殊檢測需求所激發，這些檢測需求包括：

1. 降低儀器設定及檢測所需之時間，減少檢測人員輻射暴露。
2. 探頭之電子式掃描結合掃描器之機械式掃描，提高掃描檢測可靠度。
3. 波束可涵蓋一般壓水式/沸水式反應器組件難以檢測之區域。
4. 檢測結果易於解釋、量化。
5. 在固定位置使用單一探頭檢出位於不同深度的任意方向裂縫。
6. 改善異質金屬銲道與離心鑄造不銹鋼銲道中瑕疵訊號之訊雜比與瑕疵尺寸的度量能力。
7. 檢測與度量具複雜幾何形狀之汽機組件中微小的應力腐蝕裂縫。
8. 提高缺陷之檢測、度量、定位以及判斷其方向之精確度。

三、陣列式超音波檢測技術的原理

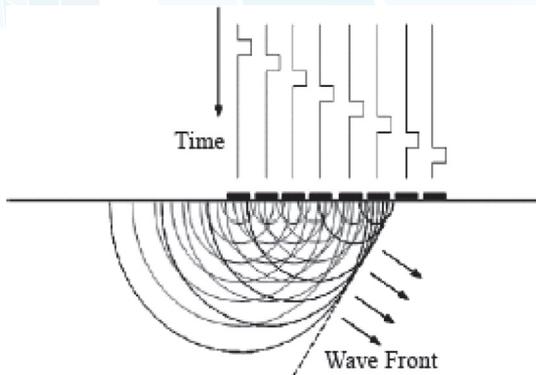
非破壞檢測技術中所謂的超音波乃彈性介質(試件)中之機械波傳送現象，此機械波係藉由電壓激發壓電晶片探頭而產生，典型的超音波頻率範圍從0.1MHz至50MHz，大部份工業應用之頻率範圍則介於0.5MHz及15MHz之間。傳統超音波檢測使用單晶探頭，波束隨傳送距離發散，在某些應用場合改用雙晶探頭或單晶聚焦式探頭來降低死區的影響並提高缺陷鑑別力，而這些傳統的檢測法皆以固定的折射角來傳送超音波。以固定折射角掃描的檢測與度量能力對於無特定方向的缺陷會有所受限，所以有些規範會要求以不同的折射角來作輔助檢測以提高檢出機率。如果被檢物之幾何形狀複雜、厚度很大或者是探頭之掃描空間受限時，檢測問題就會顯得更困難。為了解決這些檢測問題，具有波束聚焦能力的相位式陣列多晶(multicrystal)探頭之需求因應而生，如圖1所示。



▲ 圖1 (左)單晶固定折射角的探頭檢測時需使用不同角度的探頭並掃描檢測；(右)線性陣列探頭可利用各種折射角的聚焦波束來掃描而不需探頭移動。



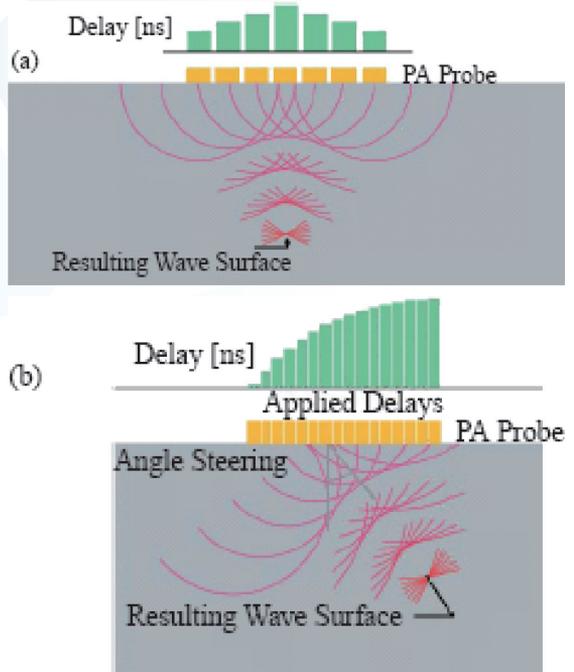
當單一塊狀晶片被切割成很多個別的元件，各元件之間距(pitch)小於其長度很多($e < \lambda$)，則各小晶片或元件可被視為產生柱狀波的線狀波源，而這些小元件組成新的探頭時，其波前(wavefront)會互相建設性或破壞性干涉而產生新的波前，如圖2所示。延遲激發這些小波前使其在相位上同步來產生新波束，此乃基於建設性干涉的新波前，因而成為具有操縱偏折角度能力的超音波聚焦波束。



▲ 圖2 激發期間適當的電子控制延遲，各小件依豪斯原理產生之柱狀波互相干涉而產生新的波前。

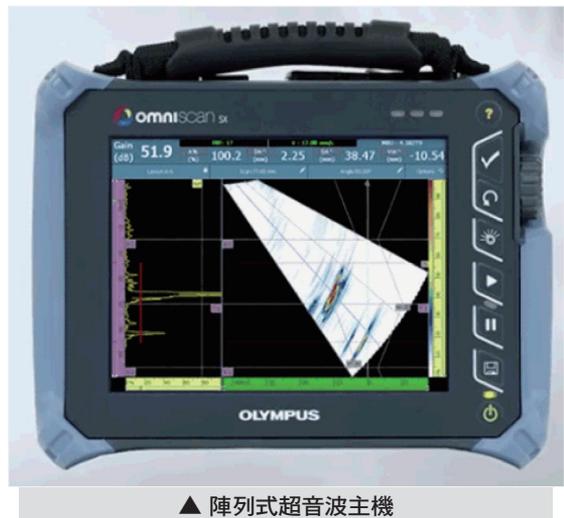
相位式陣列超音波技術之主要特徵是以電腦控制延遲不同的時間來激發多元件探頭中之個別元件，壓電複合元件受激發後可產生事先規劃之參數，例如折射角及焦距等。欲產生建設性干涉，各波前必須在相同的時間到達干涉點，如圖2所示，欲達成此效應則必須要求探頭中各作動元件在預定的次序以極小時間間隔完成音波發射，如圖3及所示。來自聚焦點之回波以不同的時間打到各換能器(transducer)元件，換能器元件所接收的訊號在相加之前先作時間偏移處理，相加後即得到可強化來自聚焦點之A-scan訊號，而衰減來自材料中其它點的回波訊號。各元件之時間延遲視相位式陣列

探頭之波式、折射角與聚焦深度而定。在此強調，相位式陣列技術並沒有改變超音波之物理特性，僅是改變產生與接收訊號的方法而已。

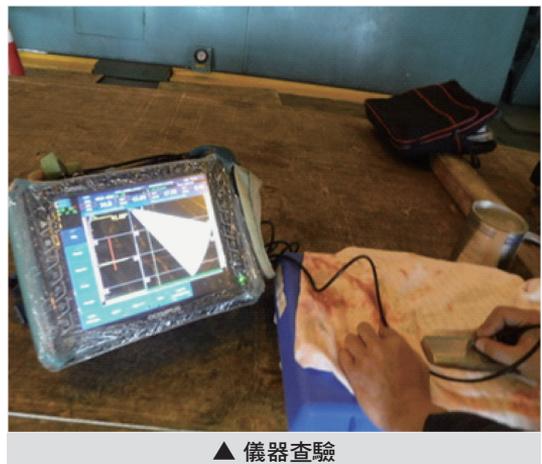
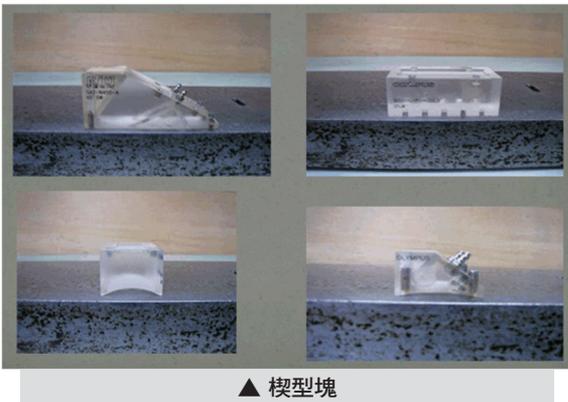
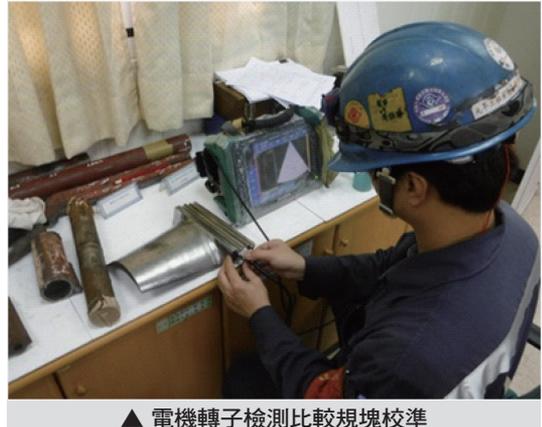
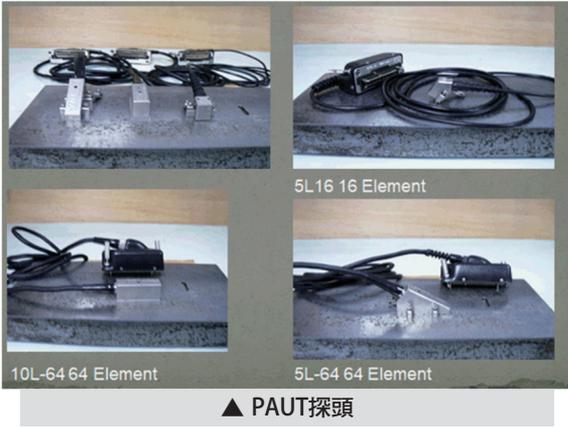


▲ 圖3 垂直(圖左)與傾斜(圖右)入射之波束聚焦原理。

四、PAUT設備介紹



▲ 陣列式超音波主機





▲ 設備銲道檢測



▲ 插管銲道檢測



▲ 壓力容器母材檢測



▲ 槽底板填角銲道檢測



▲ 槽頂銲道檢測



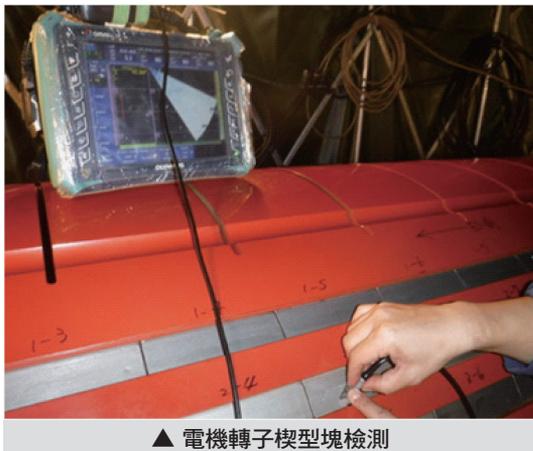
▲ 反應器銲道檢測



▲ 葉片鳩尾槽檢測

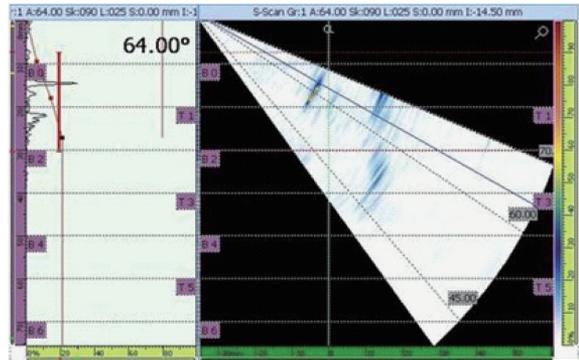


▲ 管線鐸道檢測

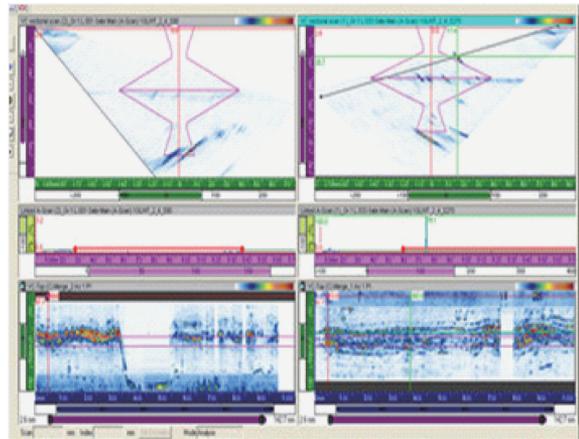


▲ 電機轉子楔型塊檢測

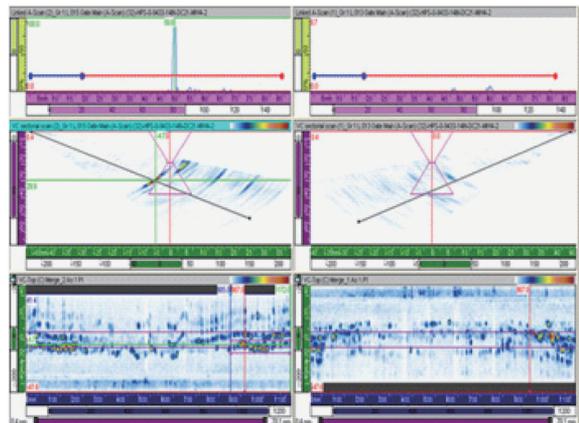
五、DATA檔異常顯示參考



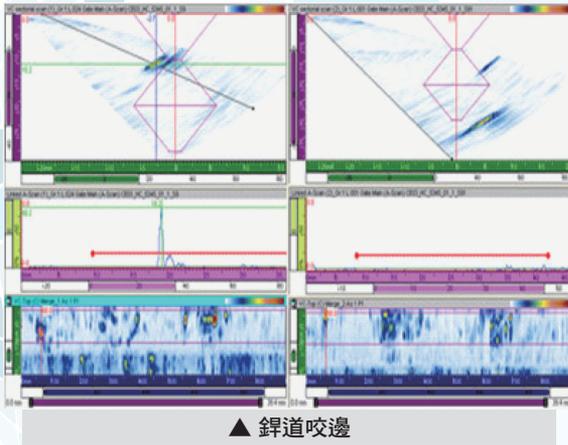
▲ 插管鐸道融合不良



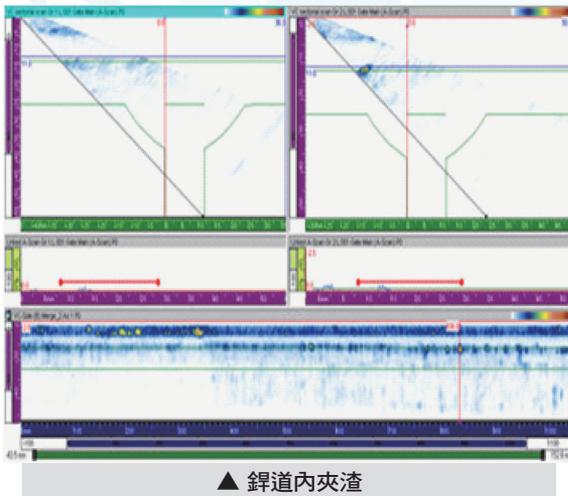
▲ 鐸道融合不良



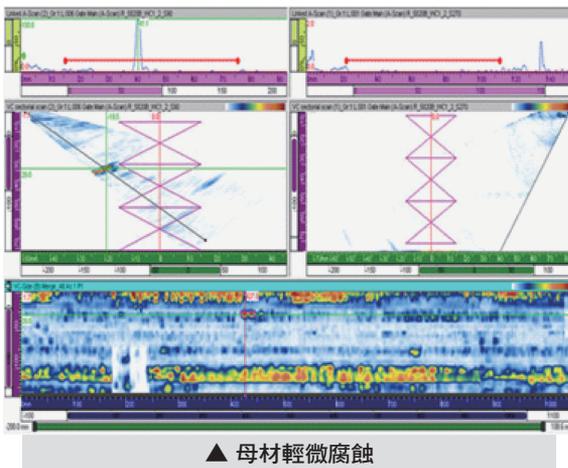
▲ 鐸道融合不良



▲ 銲道咬邊



▲ 銲道內夾渣



▲ 母材輕微腐蝕

六、結語

相位式陣列超音波技術的幾個主要特性包括：

1. 速度快：相位式陣列技術允許電子式掃瞄，故檢測速度較傳統的方形掃瞄(raster scan)快很多。
2. 高彈性：傳統的超音波檢測技術必須因應特殊應用場合而選擇合適的探頭，而單一相位式陣列探頭則可使用於廣泛的應用場合。
3. 電子式設定：僅藉由下載已建立之相對應的參數設定檔案即可完成不同的檢測參數之設定。
4. 小的探頭尺寸：對於某些應用場合，探頭掃瞄空間受到侷限，而一個小的相位式陣列探頭即可提供相當於多個傳統探頭的效果。
5. 複雜的檢測：相位式陣列可被程式化以檢測幾何形狀複雜的組件，相位式陣列也可被程式化以執行特殊的掃瞄，例如多角度TOFD、多波式(multimode)等。
6. 可靠的缺陷檢測：相位式陣列利用聚焦波束可提高檢測訊雜比，而相位式陣列的多角度偏折功能(S-scan)則可提高缺陷檢出機率(Probability of Detection, POD)。
7. 呈像：相位式陣列提供嶄新且獨特的呈像方式，使檢測人員更容易解釋與分析檢測結果。