

出國報告：(出國類別：實習)

# 高風險高壓高溫設備及管線先進檢測技術、檢查規劃與腐蝕防治技術 研習

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：林銘坤/十等工業安全衛生師

派赴國家：日本

出國期間：97/12/12~97/12/18

報告日期：98/03/05

## 目 次

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 壹、概述.....                                      | 3  |
| 貳、目的.....                                      | 4  |
| 參、飛行時間繞射法(TOFD)檢測基本原理及應用探討 .....               | 4  |
| 一、飛行時間繞射法(TOFD)檢測基本原理探討 .....                  | 4  |
| 二、飛行時間繞射法(TOFD)檢測應用探討 .....                    | 8  |
| 肆、高溫高壓厚壁反應器及管線的腐蝕裂化機制及檢查探討 .....               | 10 |
| 一、新製反應器的非破壞檢查(NDE)方法之探討 .....                  | 10 |
| 二、使用後（In-Service）反應器腐蝕裂化機制及防治方法之探討 ...         | 12 |
| 三、使用後（In-Service）反應器及管線的檢查規劃及檢查方法之探<br>討 ..... | 14 |
| 伍、使用後（In-Service）厚壁反應器的初步檢查結果評估之探<br>討.....    | 21 |
| 陸、心得及感想.....                                   | 21 |
| 柒、建議.....                                      | 22 |

## 壹、概述

日本製鋼所(Japan Steel Works,JSW)成立於 1907，並於 1932 年完成第一座高壓設備(High Pressure Vessel)之製作，製作高壓設備(High Pressure Vessel)之經驗已有 75 年之歷史，在該公司所有產品中，高壓鍛造反應器一直是該公司主要的產品。根據該公司的資料顯示，採用鍛造方式製作會有以下幾項優點：

- (1) 無直縫銲道(Longitudinal Seams) --減少殼板(Shell)受較高內應力銲道之存在(直縫銲道所受內應力為圈縫銲道的二倍)，降低殼板可能因銲接不良所造成的影響。
- (2) 製作的尺寸較精確—包括內徑、壁厚及殼板對接銲道邊緣的對準(Alignment)皆較精確，可提高設備的製作加工效率，增加設備的安全性及可靠性。
- (3) 較佳的性質—一般來說，以鍛造程序製作的殼板，會比滾壓程序製作的殼板具有均質(Homogeneous)及較佳的機械及冶金特性。
- (4) 縮減時間—因該鍛造殼板無直縫銲道僅有圈縫銲道(Girth Seam)，因此可減少殼板銲接及使用後後續之檢查(In-Service Inspection)時間。

以上四項優點可能是日本製鋼所為什麼採用鍛造方式來製造高壓反應器的主要原因。另據該公司的說明，該公司鍛造製作技術之所以能不斷的提升及進步，除不斷的投入研究與發展(R&D)外，更不無餘力地蒐集世界各國使用者使用該公司製作之鍛造高壓設備之相關使用資訊，以作為進一步研究改進的參考，如此不但使得該公司在高壓設備(High Pressure Vessel)之鍛造製作技術與品質方面，得以不斷的改進及提升，更能與使用者維持良好的互動，建立互信，最終互蒙其利。

製造技術一日千里，面對目前世界如此競爭激烈的環境，如果不能戰戰兢兢的不斷求進步、求創新，時時「精益求精」，並且技術本位的實事求是的做，很容易被世界潮流的大浪所淹沒，另外，個人認為在製造業的領域裡，與使用者建立「良好的互動」，亦是企業能維持不墜的重要因素。

使用後高壓鍛造厚壁反應器及其進出口管線，因其潛在的高風險，因此對於其相關的腐蝕防治方法、檢查規劃與檢查技術，一直是一值得考慮與探討的問題，以下將以重油加氫脫硫（Residue Desulfurization，RDS）工場所使用之鍛造厚壁反應器及其進出口管線為例，說明鍛造厚壁反應器及其進出口管線的腐蝕防治方法、檢查規劃與檢查技術。

## 貳、目的

重油加氫脫硫（RDS）工場含高壓氫氣及硫化氫環境之高溫高壓反應器及其進出口管線，由於其潛在高風險，一直是檢查的重點，高溫高壓厚壁（Heavy Wall）反應器的製作為日本製鋼所(JSW)的主要營業事項，此次參訪日本製鋼所，希望能經由日本製鋼所對於該高溫高壓反應器的製作及檢查技術的經驗，了解日本對於該等設備及管線的檢查規劃及檢查方法，以便作為我們的參考。

因此此次參訪日本製鋼所有以下五項目的：

- 1.了解新製鍛造厚壁反應器的製作程序。
- 2.了解新製鍛造厚壁反應器的檢查規劃及檢查方法。
- 3.了解使用後（In-Service）鍛造厚壁反應器可能潛在的危害因子。
- 4.了解使用後（In-Service）鍛造厚壁反應器的檢查規劃及檢查方法。
- 5.了解使用後（In-Service）鍛造厚壁反應器進出口管線的檢查方法。

## 參、飛行時間繞射法(TOFD)檢測基本原理及應用探討

### 一、飛行時間繞射法(TOFD)檢測基本原理探討

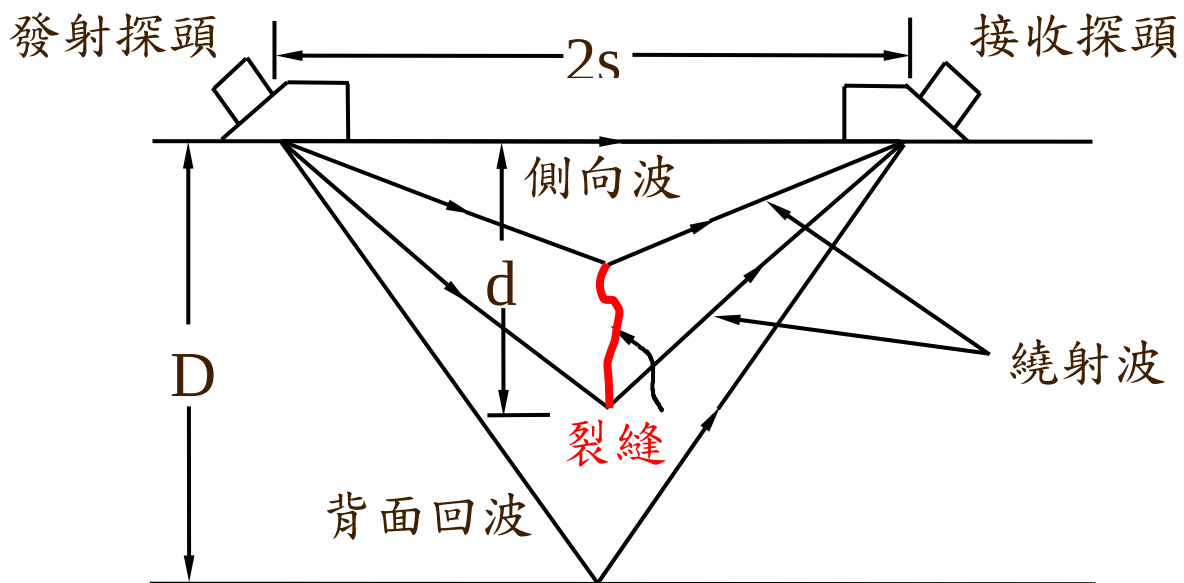
飛行時間繞射法(Time of Flight Diffraction，TOFD)，係採用斜束縱波探頭，以雙探頭一發一收的方式執行檢測，如被檢物內有瑕疵，則瑕疵兩尖端會產生繞射波，

可藉由瑕疵上下尖端產生繞射波的傳遞時間差量測瑕疵尺寸（如圖一）。

TOFD 檢測訊號包含四種波形：（如圖一、二、三）

- （1）側向波（Lateral Wave）--產生於發射探頭與接收探頭間的表面。
- （2）尖端繞射波(Longitudinal Wave)－產生於瑕疵(例如裂縫)的上下二個尖端的縱波。
- （3）背面回波（Backwall Wave）--入射縱波打到背面所產生的反射縱波。
- （4）波式轉換橫波(mode conversion L/T Shear Wave)－瑕疵介面因波式轉換產生的橫波。

經由該訊號顯示及 A-Scan、B-Scan（如圖二、三）不同訊號模式，可較精確判讀各種瑕疵顯示（如裂縫長度）。

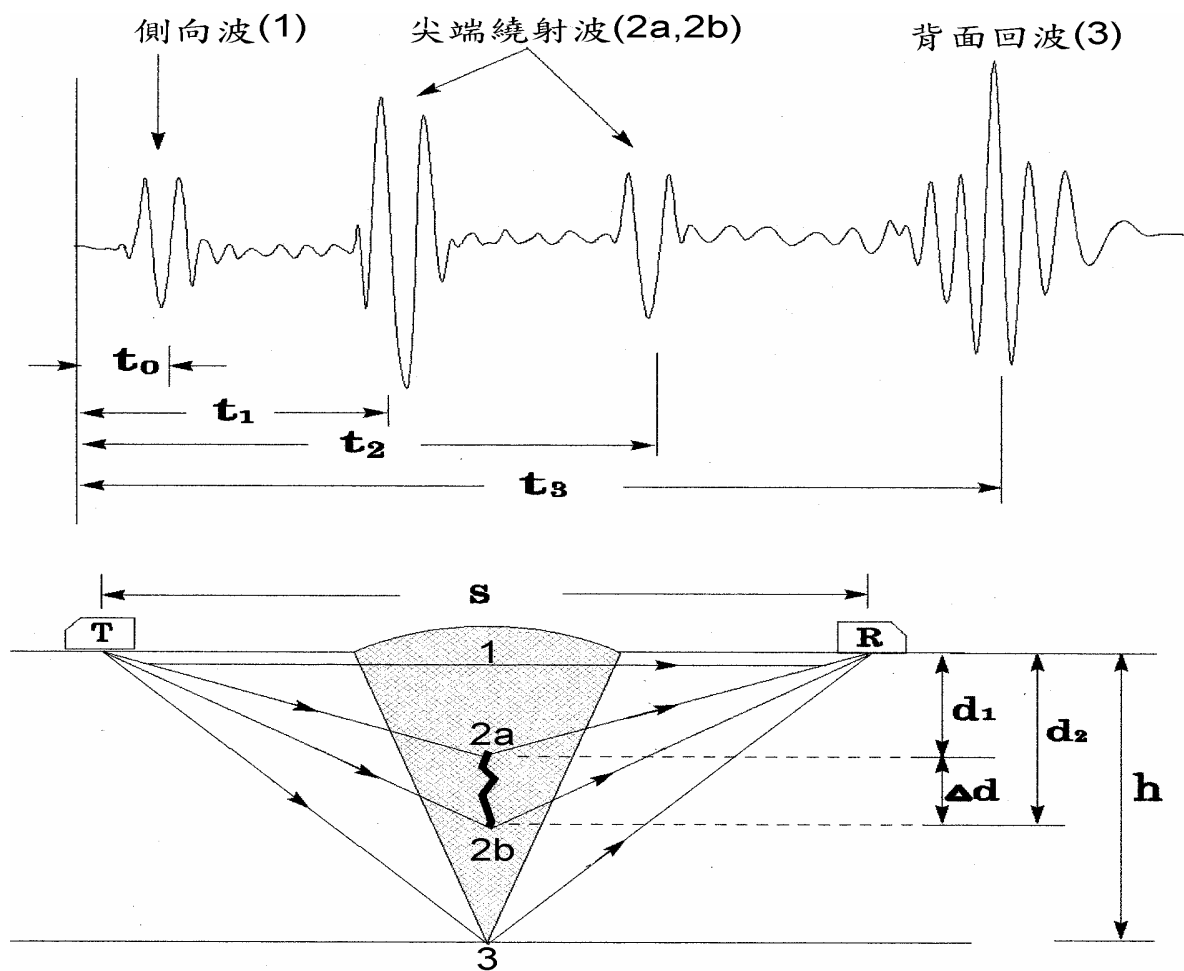


符號說明：D：被檢物厚度

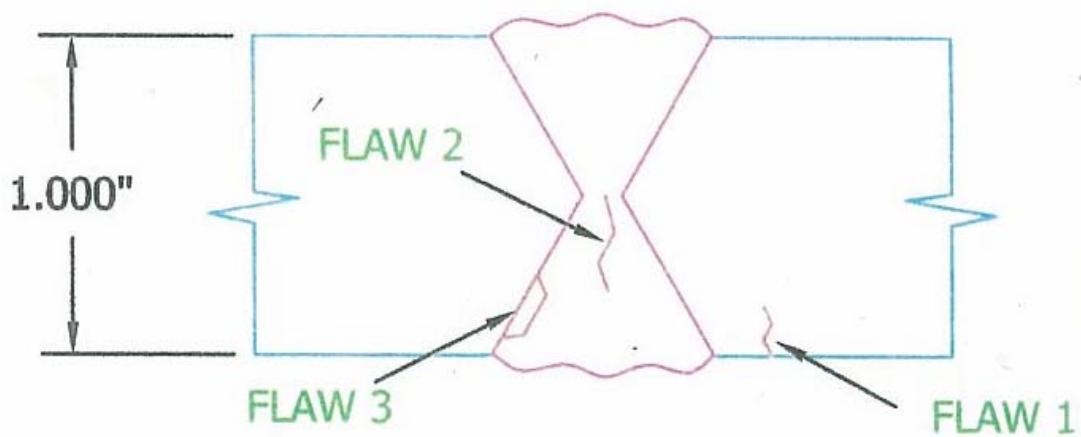
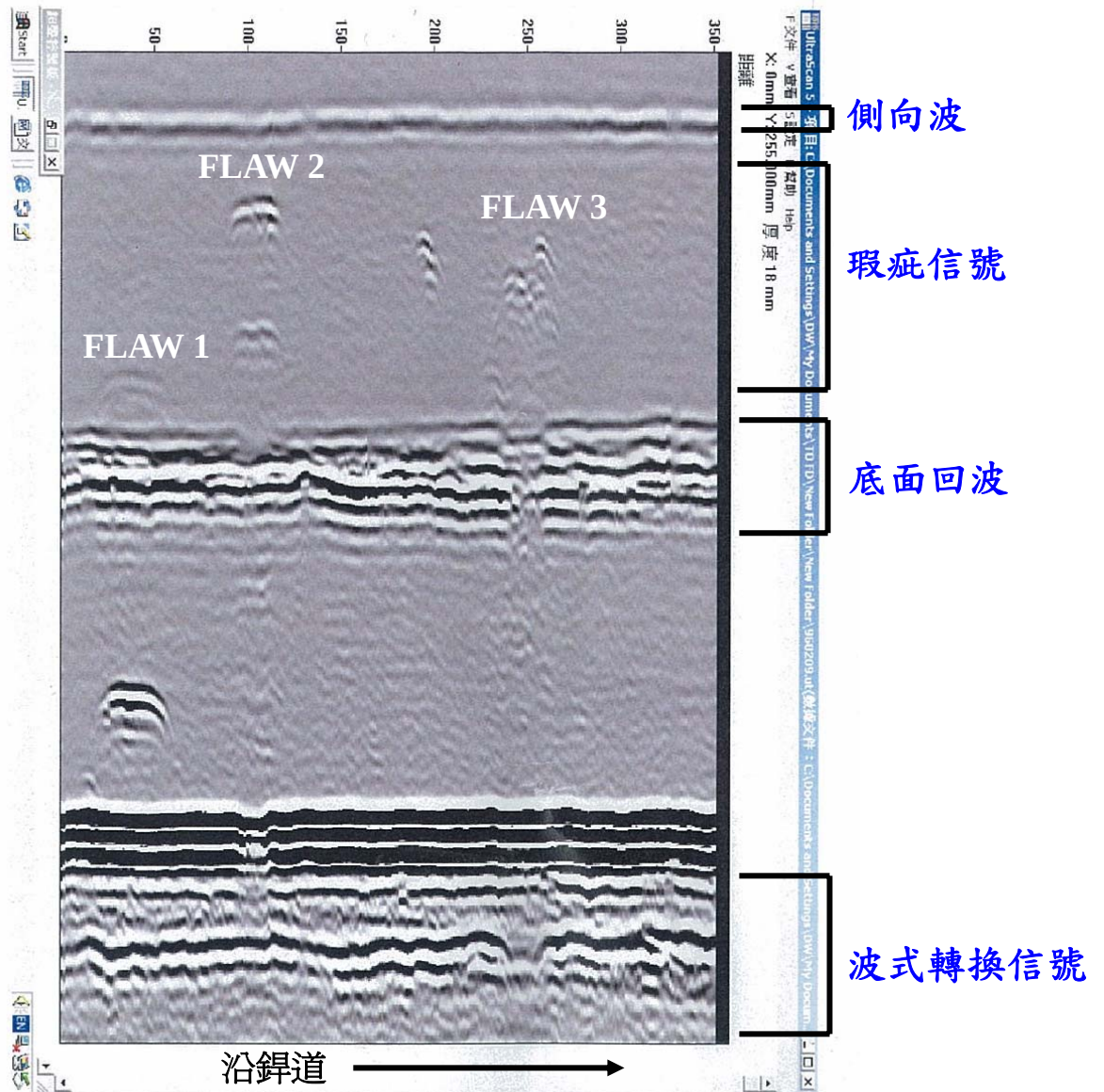
d：裂縫最深處距被檢物表面深度

2s：探頭間距

**圖一、飛行時間繞射法(TOFD)檢測原理示意圖**



**圖二、飛行時間繞射法(TOFD) A-Scan 訊號示意圖**



**圖三、飛行時間繞射法(TOFD) B-Scan 訊號示意圖**

## 二、飛行時間繞射法(TOFD)檢測應用

TOFD 係一可進行掃描檢查，儲存檢測數據，利於後續檢測結果的分析判讀的電腦化系統儀器，TOFD 一般應用於厚壁容器銲道的檢查，特別是壁厚特別厚的反應器，例如：重油加氫脫硫（RDS）工場高壓鍛造反應器，裂紋的檢查，它具有以下的特點、優點及限制：

### 1、主要特點：

- （1）利用兩個縱波探頭進行檢測。
- （2）側向波可作為耦合效果之監測。
- （3）探頭間距之設定與檢測之試件厚度有關。
- （4）檢測時可測得表面、瑕疵上下端及背面反射波共 4 個訊號。

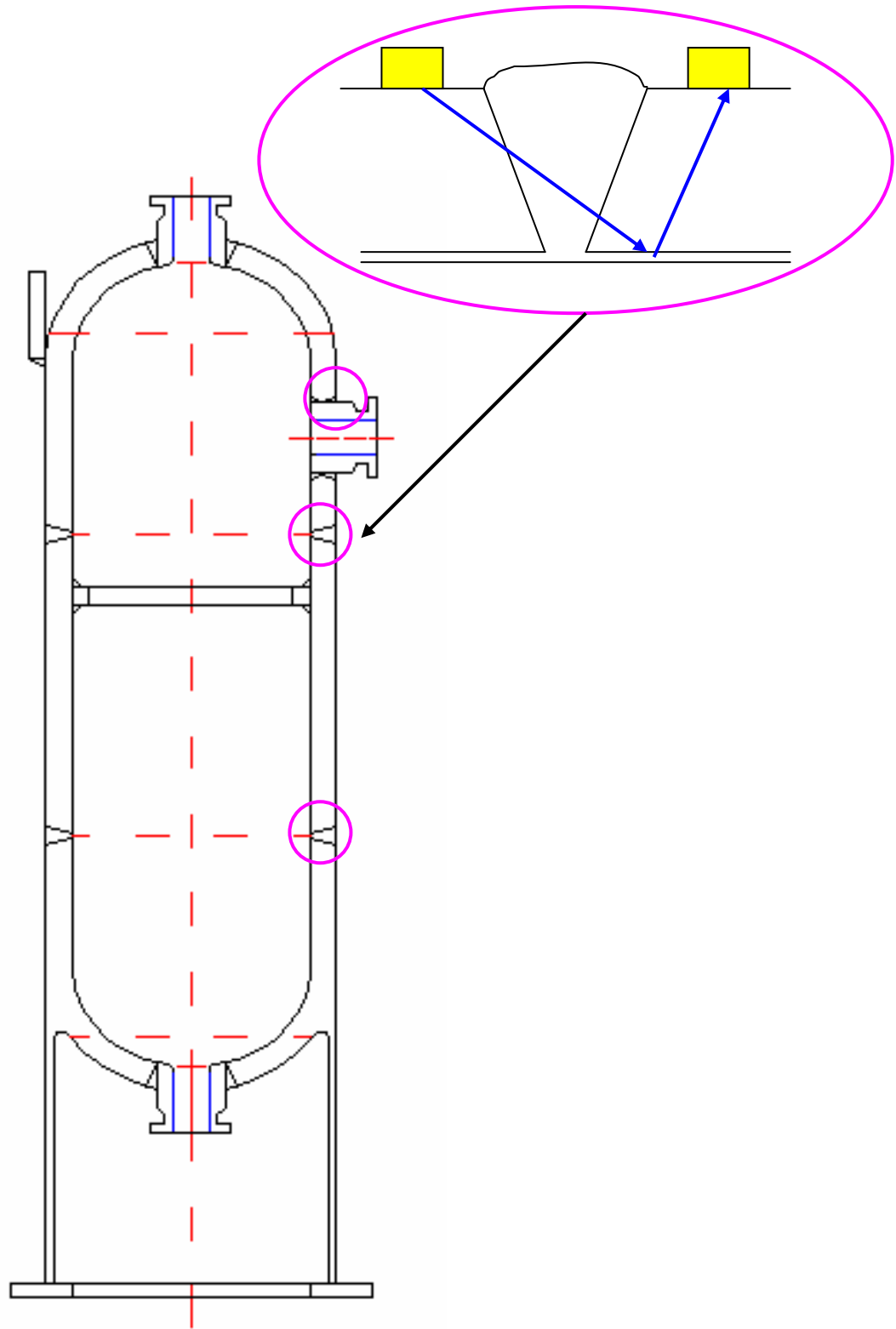
### 2、主要優點：

- （1）利用瑕疵尖端之繞射波傳遞時間差量測瑕疵尺寸，不利用訊號振幅來度量缺陷的尺寸。
- （2）可直接憑藉 TOFD 影像，結合儀器電腦系統軟體來精確量測缺陷尺寸。
- （3）缺陷的尺寸量測（Sizing）精確度（精確度可達 $\pm 1\text{mm}$ ）較傳統脈波回波超音波佳。
- （4）較傳統脈波回波超音波不受缺陷方向性及表面平整性之影響。
- （5）單組探頭/單次掃描即可測得各種方位的缺陷。
- （6）待測範圍可一次涵蓋，故可避免不同時間檢測時，因定位誤差所產生之檢測不確定性。
- （7）檢測數據可儲存，以便於做進一步分析判讀，亦可做線上監測及後續檢查資料比較分析。
- （8）裂紋尺寸量測（Sizing）精確度較佳，適於後續適用性評估的進行。

### 3、主要限制：

- （1）一般用於厚壁容器對接銲道檢查（如反應器）。
- （2）愈薄愈不容易做，且被檢物要有足夠的空間置放掃瞄探頭。
- （3）繞射波訊號較微弱。
- （4）訊號判讀需有足夠的經驗及熟悉 TOFD 原理、方法方可正確判定。
- （5）不適用於晶粒顆粒較大材料的檢查。





圖四、高壓高溫厚壁反應器圈縫銲道 UT 檢查示意圖

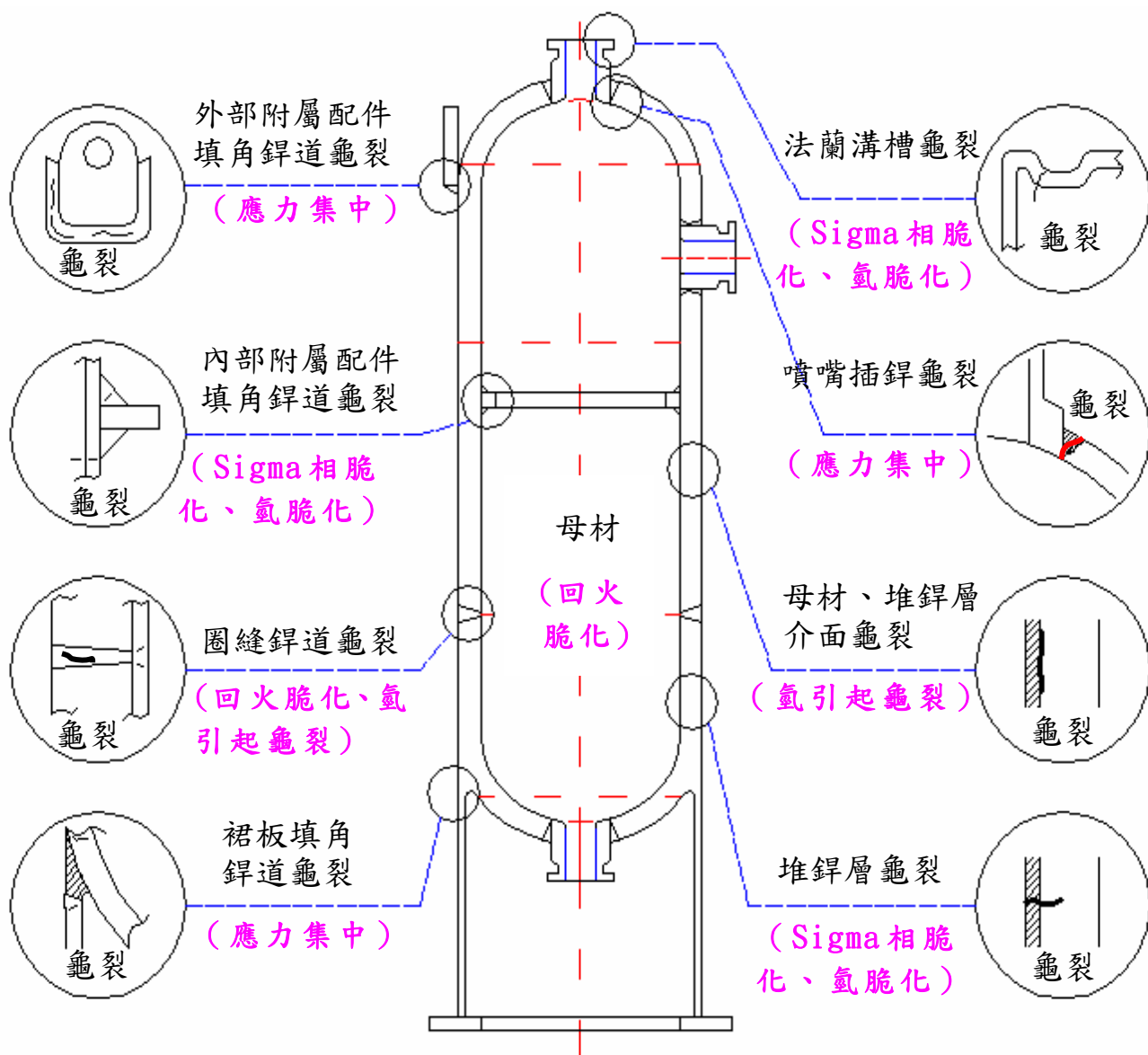
## 肆、高溫高壓反應器及管線的腐蝕裂化機制及檢查的探討

### 一、新製反應器的非破壞檢查(NDE)方法之探討

依 JSW 公司的簡報，重油加氫脫硫（RDS）製程高溫高壓氫氣和硫化氫環境之厚壁(Heavy Wall)鍛造反應器（母材材質為 2.25Cr-1Mo，SA387-22 CL2，內襯一層奧斯田鐵系不銹鋼）其製造過程從開始鋼鐵熔煉至最後船運共分為 13 步驟，分別為：

（1）鋼鐵熔煉（Melting）→（2）鋼錠製作（Ingot Making）→（3）鍛造成型（Forging）→（4）熱處理（Heat Treatment）→（5）機械加工（Machining）→（6）機械性能試驗及非破壞檢測（Mechanical Test & NDE）→（7）堆銲內襯（Overlay Weld）→（8）圈縫銲道銲接（Girth Seam Weld）→（9）圈縫銲道非破壞檢測（NDE）→（10）組裝銲接（Assembly Welding）→（11）銲後熱處理（Post-Weld Heat Treatment, PWHT）→（12）水壓試驗及最後確認檢查（Hydro.Test & Final Inspection）（13）船運（Shipment）。

由於該等反應器殼板(Shell)係以鍛造加工方式分段製造，再以銲接方式接合各段，因此僅有圈縫銲道（Girth Seam），因殼板厚度相當厚（一般會超過 250mm，有些甚至超過 300mm），一般來說不易找到具如此穿透力的射源，因此不易採用傳統的射線檢測法(RT)實施檢測，所以該圈縫銲道非破壞檢測採用斜束超音波檢測(UT)或飛行時間繞射(Time of Flight Diffraction, TOFD)檢測法（如圖四），針對母材表面超音波檢測無法檢查之死區及奧斯田鐵系不銹鋼內襯再分別搭配磁粒檢測(MT)及液滲檢測(PT)補強。



圖五、高壓高溫厚壁反應器典型裂化位置及機制

## 二、使用後反應器的腐蝕裂化機制及防治方法

(一)腐蝕裂化機制：依 JSW 公司的簡報，高溫高壓厚壁反應器使用後可能產生的腐蝕裂化位置及型態計有：(詳如圖五)

(1) 噴嘴插鉚－應力集中龜裂 (Crack due to Stress Concentration)

存在應力和腐蝕環境所引發材料出現裂紋得現象稱之為應力腐蝕，簡稱 SCC，造成應力腐蝕之應力為拉伸應力，包括外來作用應力以及加工、熱處理和鉚接之殘留應力。

(2) 法蘭溝槽－氫脆化 (Hydrogen Embrittlement) 及 Sigma 相脆化 ( $\sigma$  Phase Embrittlement)

氫脆化係氫滲透進入鋼材中，在溫度 100~120°C 之間影響材料差排之移動，導致鋼材脆裂之現象，僅發生在低應變速率，在高應變速率不易發生，例如衝擊試驗和硬度試驗不易顯示氫脆化現象，石油煉製工場最常發生的氫脆化例子為硫化氫水溶液環境所引起之裂紋，即為一般所稱硫化應力腐蝕 (SSCC) 或氫助長應力腐蝕 (HSCC) 或氫助長裂紋 (HAC)，環境中存在 S、As 和 CN<sup>-</sup> 離子會加速此類問題之發生。

Sigma 相脆化係反應器內襯材，由於屬於焊接急冷下來之組織，會有或多或少之高溫肥粒鐵相殘留下來，在高溫操作環境下或焊後熱處理後，肥粒鐵相會轉換為沃斯田鐵相和 sigma 相，sigma 相形成之溫度範圍為 550~850°C (亦有報告認為 650~760°C)，此相又硬又脆，造成材料韌性的降低。

(3) 母材 (Base Metal) 與堆鉚 (Weld Overlay) 介面－氫引起龜裂 (Hydrogen Assisted Cracking) 及剝離 (Disbonding)

高溫下氫滲入反應器鋼材中，若操作停爐過程冷卻溫度太快，氫沒有時間擴散出來，容易產生氫脆化，若停留在母材和覆鉚層內襯之間會導致覆鉚層剝離。

(4) 母材 (Base Metal) -- 回火脆化 (Temper Embrittlement)

鉻鉬鋼長時間在 370~580°C 之溫度範圍內使用，將使材質變脆，延性-脆性轉換溫度 (FATT) 將升高，此現象即所謂回火脆化。

- (5) 堆銲層 (Weld Overlay) -- 氫脆化 (Hydrogen Embrittlement) 及 Sigma 相脆化 ( $\sigma$  Phase Embrittlement)
- (6) 外部附屬配件填角銲道 -- 應力集中龜裂 (Crack due to Stress Concentration)
- (7) 內部附屬配件填角銲道 -- 氫脆化 (Hydrogen Embrittlement) 及 Sigma 相脆化 ( $\sigma$  Phase Embrittlement)
- (8) 圈縫銲道 -- 回火脆化 (Temper Embrittlement)、氫引起龜裂 (Hydrogen Assisted Cracking)  
 氫引起龜裂 (Hydrogen Assisted Cracking)，其中氫侵蝕之反應機構係在溫度高於 260°C，氫分壓高於 100psi 之環境中，氫會以氫原子態擴散至鋼材內部，而在晶界，差排和夾渣處和從碳化物分解的碳結合形成甲烷氣，此氣體不斷累積結果形成一大壓力，以致在上述地方形成小氣泡進而發展成微裂紋，此現象會影響金屬機械強度，最後導致設備脆性破裂，常發生氫侵蝕之設備為加氫處理製程中含高壓氫之反應器，分離器和管線，以及動力工場鍋爐管
- (9) 裙板填角銲道 -- 應力集中龜裂 (Crack due to Stress Concentration)

## (二) 防治方法

1. 剝離 其防治方法為：嚴格遵守原廠開停爐操作程序
  - (1) 停爐時先降壓再降溫以達脫氫之目的。
  - (2) 開爐時先升溫至原廠建議溫度後，再逐步建壓置操作壓力。
2. 氫侵蝕其防治方法為：依據 Nelson Curve，選用抗氫侵蝕之材料，Nelson Curve 為統計例年來發生氫侵蝕案例，所作出氫分壓和溫度之關係曲線，曲線下面為該材料之安全區，現有反應器以實際氫分壓及溫度確認是否位於 Nelson Curve 以下。
3. 氫脆化 其防治方法為：嚴格遵守原廠開停爐操作程序
  - (1) 停爐時先降壓再降溫以達脫氫之目的。
  - (2) 開爐時先升溫至原廠建議溫度後，再逐步建壓置操作壓力。
4. 回火脆化 其防治方法為：嚴格遵守原廠開停爐操作程序
  - (1) 停爐時先降壓再降溫以達脫氫之目的。
  - (2) 開爐時先升溫至原廠建議溫度後，再逐步建壓置操作壓力。
5. Sigma 相脆化 其防治方法為：嚴格遵守原廠開停爐操作程序

- (1)停爐時先降壓再降溫以達脫氫之目的。
- (2)開爐時先升溫至原廠建議溫度後，再逐步建壓置操作壓力。
- 6.應力集中龜裂其防治方法為：避免過負荷。

### 三、使用後反應器及管線的檢查規劃及檢查方法之探討

#### (一) 反應器檢查規劃及方法

##### 1. 噴嘴插鉗：

- (1.1) 該位置可能因應力集中而產生龜裂的問題，由於該龜裂問題主要由內表面開始產生，因此可採用超音波斜束或 TOFD 檢測搭配磁粒檢測進行確認，以涵蓋所有鉗道深度範圍。
- (1.2) 斜束超音波檢測 (Angle Beam UT) 或 TOFD—該部位的檢測由於幾何形狀較複雜，宜找較有經驗者為之，特別是 TOFD 因訊號判讀不易，更需慎選有經驗者為之，較能確保檢測品質。
- (1.3) 磁粒檢測 (MT) --為補強超音波斜束或 TOFD 檢測，因近表面區域存在不易檢測之盲點，可採用濕式螢光交流磁軛 (York) 檢測法確認表面是否有龜裂，實施該檢測時儘可能利用傍晚或夜間進行檢測，以達最佳檢測效果，但如受限於其他因素而需於白天進行檢測，則需採取適當之遮光措施 (例如以黑布遮光等)，以確保檢測之效果。

##### 2. 法蘭溝槽：

- (2.1) 反應器經使用一段時間後，該位置可能會有氫脆及 Sigma 相脆裂的問題，由於該龜裂問題主要由法蘭溝槽外表面開始產生，且材質為奧斯田鐵系不銹鋼，因此可採用液滲檢測進行確認或由法蘭本體以超音波斜束檢測進行確認 (如圖六)。
- (2.2) 斜束超音波檢測 (Angle Beam UT) 或液滲檢測 (PT) --採用斜束超音波檢測由於該部位的幾何形狀較複雜，宜找較有經驗者為之，較能確保檢測品質，採用液滲檢測需特別注意檢測表面清潔度的要求，以確保檢測之效果。

##### 3. 母材 (Base Metal) 與堆鉗 (Weld Overlay) 介面：

- (3.1) 反應器經使用一段時間後，該位置可能產生氫剝離，可採用斜束超音波檢測確認是否有裂縫產生，

採用直束超音波檢測從反應器內部或外部確認是否有剝離（如圖七）。

（3.2）斜束超音波檢測（Angle Beam UT）--採用超音波斜束檢查圈縫銲道是否受氫剝離影響，宜找較有經驗者為之，較能確保檢測品質。

（3.3）直束超音波檢測（Straight Beam UT）--檢測面積相當龐大，宜先行評估分析後詳加規劃。

#### 4. 母材（Base Metal）：

（4.1）母材經使用一段時間後，可能產生回火脆化龜裂，可採用斜束超音波檢測確認是否有裂縫產生。

（4.2）斜束超音波檢測（Angle Beam UT）--檢測面積相當龐大，宜先行評估分析後詳加規劃，採用斜束超音波檢測宜找較有經驗者為之，較能確保檢測品質。

#### 5. 堆銲（Weld Overlay）：

（5.1）反應器經使用一段時間後，該位置可能會有氫脆及Sigma相脆裂的問題，由於該龜裂問題主要由銲道外表面開始產生，且材質為奧斯田鐵系不銹鋼，因此可採用液滲檢測進行確認，並輔以金相確認成因。

（5.2）液滲檢測（PT）--需特別注意安全及檢測表面清潔度的要求，以確保檢測之效果。

#### 6. 外部附屬配件填角銲道：

（6.1）該位置可能因應力集中而產生龜裂的問題，由於該龜裂問題主要由外表面開始產生，因此可採用磁粒檢測進行確認。

（6.2）磁粒檢測（MT）--可採用濕式螢光交流磁軛（York）檢測法檢查表面是否有龜裂，實施該檢測時儘可能利用傍晚或夜間進行檢測，以達最佳檢測效果，但如受限於其他因素而需於白天進行檢測，則需採取適當之遮光措施（例如以黑布遮光等），以確保檢測之效果。

#### 7. 內部附屬配件填角銲道：

（7.1）反應器經使用一段時間後，該位置可能會有氫脆及Sigma相脆裂的問題，由於該龜裂問題主要由銲道外表面開始產生，且材質為奧斯田鐵系不銹鋼，因此可採用液滲檢測進行確認。

（7.2）液滲檢測（PT）--需特別注意安全及檢測表面清潔度的要求，以確保檢測之效果。

#### 8. 圈縫銲道：

- (8.1) 反應器經使用一段時間後，該位置可能會有回火脆化龜裂、氬引起龜裂的疑慮，由於該龜裂問題主要由內表面開始產生，因此可採用超音波斜束或 TOFD 檢測（如圖八）搭配磁粒檢測進行確認，以涵蓋所有銲道深度範圍。
- (8.2) 斜束超音波檢測（Angle Beam UT）或 TOFD--採用超音波斜束檢測宜找較有經驗者為之，較能確保檢測品質，特別是 TOFD 因訊號判讀不易，更需慎選有經驗者為之，較能確保檢測品質。
- (8.3) 磁粒檢測（MT）--為補強超音波斜束或 TOFD 檢測，因近表面區域存在不易檢測之盲點，可採用濕式螢光交流磁軛（York）檢測法確認表面是否有龜裂，實施該檢測時儘可能利用傍晚或夜間進行檢測，以達最佳檢測效果，但如受限於其他因素而需於白天進行檢測，則需採取適當之遮光措施（例如以黑布遮光等），以確保檢測之效果。

#### 9. 裙板填角銲道：

- (9.1) 該位置可能因應力集中而產生龜裂的問題，由於該龜裂問題主要由外表面開始產生，因此可採用磁粒檢測進行確認。
- (9.2) 磁粒檢測（MT）--可採用濕式螢光交流磁軛（York）檢測法檢查表面是否有龜裂，實施該檢測時儘可能利用傍晚或夜間進行檢測，以達最佳檢測效果，但如受限於其他因素而需於白天進行檢測，則需採取適當之遮光措施（例如以黑布遮光等），以確保檢測之效果。

## (二) 反應器進出口管線檢查規劃及方法

### 1. 管線圈縫銲道

- (1.1) 該位置可能因存在應力及氯離子環境而產生應力腐蝕（SCC）龜裂。
- (1.2) 斜束超音波檢測（UT）或 TOFD--採用超音波斜束檢測宜找較有經驗者為之，較能確保檢測品質，特別是 TOFD 因訊號判讀不易，更需慎選有經驗者為之，較能確保檢測品質。
- (1.3) 液滲檢測（PT）--補強超音波斜束或 TOFD 檢測，因近表面區域存在不易檢測之盲點，需特別注意安全及檢測表面清潔度的要求，以確保檢測之效果。

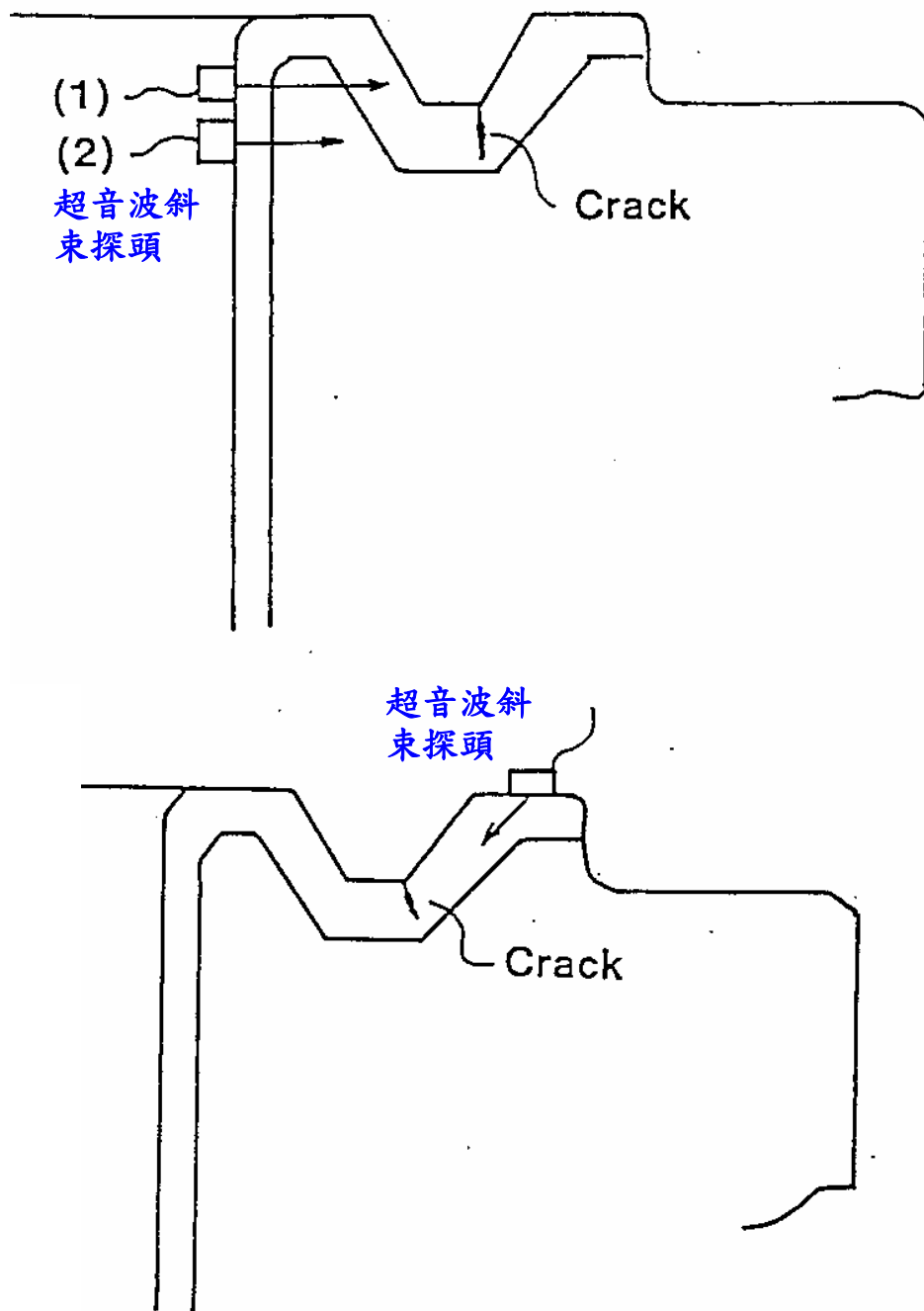
### 2. 管線插銲銲道

- (2.1) 該位置可能因存在應力及氯離子環境而產生應力腐

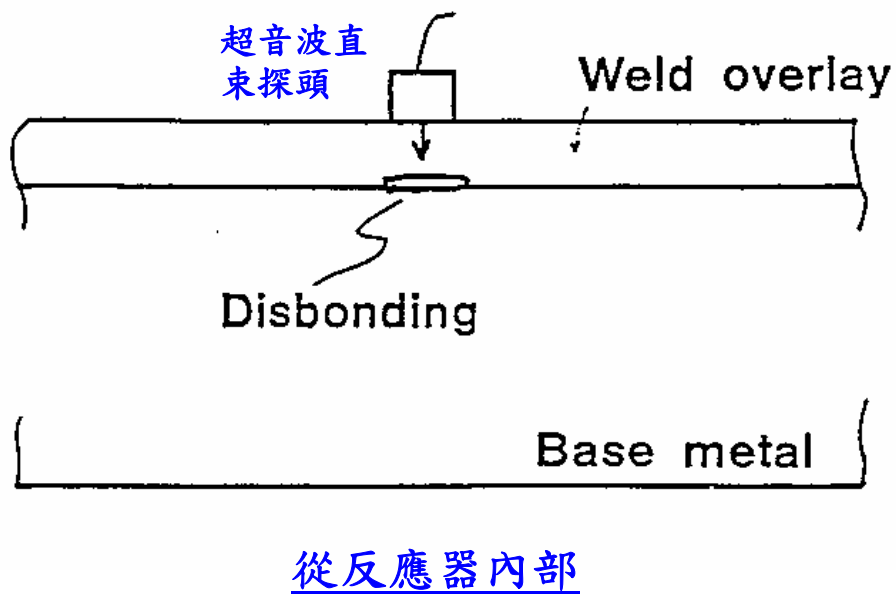
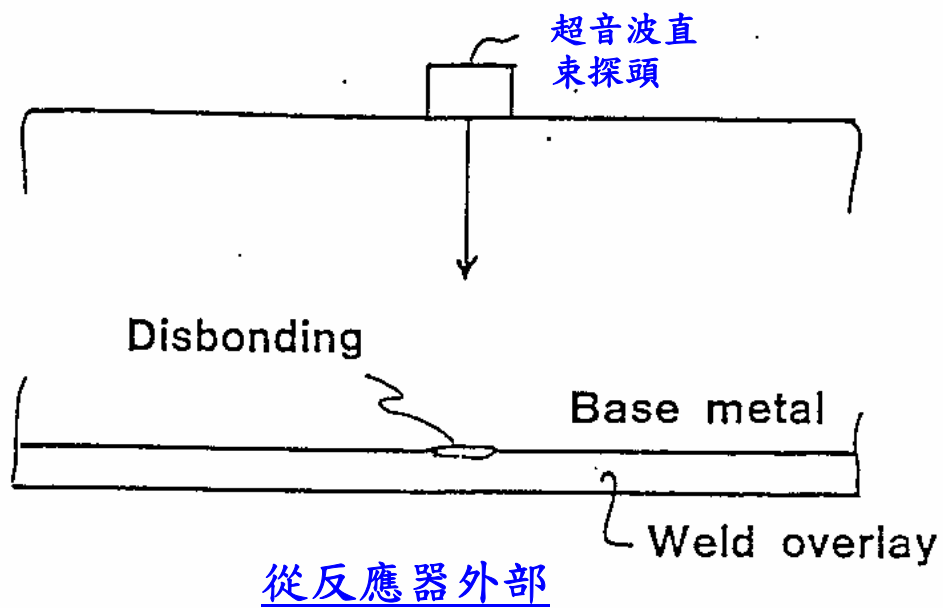


蝕（SCC）龜裂。

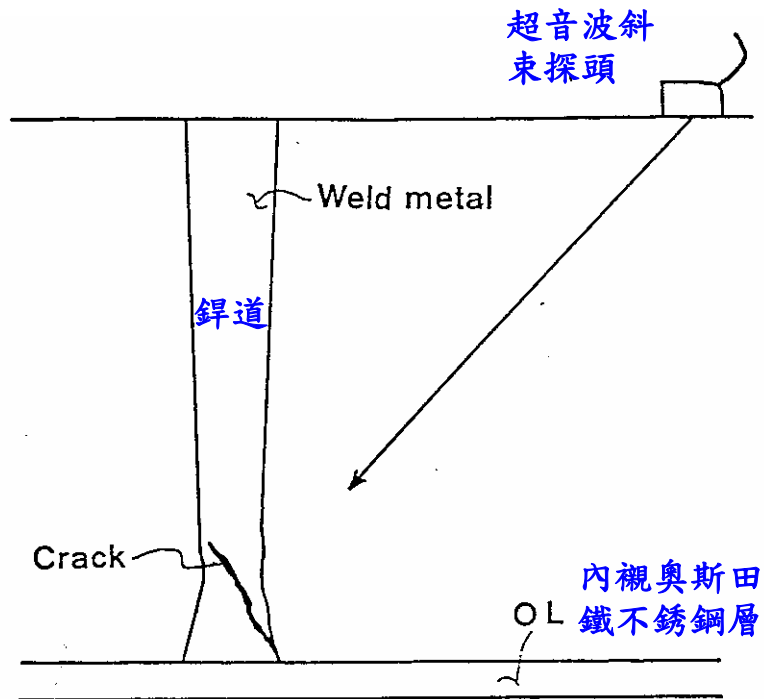
- （2.2）斜束超音波檢測（UT）或 TOFD--該部位的檢測由於幾何形狀較複雜，宜找較有經驗者為之，特別是 TOFD 因訊號判讀不易，更需慎選有經驗者為之，較能確保檢測品質。
- （2.3）液滲檢測（PT）--補強超音波斜束或 TOFD 檢測，因近表面區域存在不易檢測之盲點，需特別注意安全及檢測表面清潔度的要求，以確保檢測之效果。



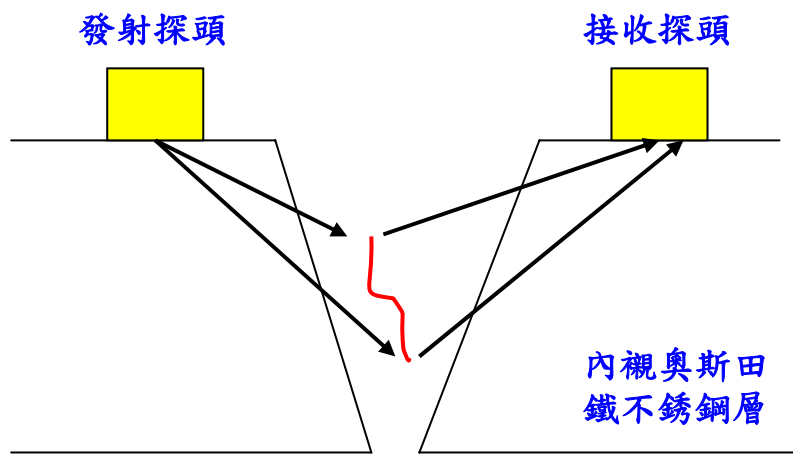
圖六、法蘭溝槽超音波檢測位置示意圖



圖七、內襯剝離超音波檢測位置示意圖



鉚道斜束超音波檢測示意圖



鉚道 TOFD 檢測示意圖

圖八、鉚道斜束超音波及 TOFD 檢測位置示意圖

## 伍、使用後厚壁反應器初步檢查結果評估之探討

進行厚壁反應器檢查規劃及實施各項檢查的主要目的，係希望於有限的檢查時間內，以最快速及最有效率的方法，了解厚壁反應器是否有裂紋產生，因此以下的初步檢查結果評估係以裂紋為主要對象。

### (一) 傳統脈波回波式超音波檢測（UT）/TOFD 檢測

- 1.傳統脈波回波式斜束超音波檢測--無法直接看到裂縫形狀及大小，需經由信號的判讀間接評估，因此需具備相當經驗及技術，因受缺陷方向性之影響，裂紋尺寸評估較不易，因此裂紋尺寸評估結果較不精確可靠。
- 2.傳統脈波回波式直束超音波檢測—可從反應器外部(或內部)直接評估反應器奧斯田鐵系不銹鋼是否有剝離現象，檢測方法成熟，因此結果評估可靠。
- 3.TOFD 檢測--無法直接看到裂縫形狀及大小，需經由信號的判讀間接評估，因此需具備相當經驗及技術，但因該儀器可直接憑藉 TOFD 影像，結合儀器電腦系統軟體來精確量測裂紋尺寸，因此裂紋尺寸評估結果較精確可靠。

(二) MT—可直接看到裂縫形狀及大小，因此容易量測裂縫長度，但無法得知裂縫深度，需藉助超音波檢測或 TOFD 檢測，以評估裂縫的影響程度，以作為後續維修處理方法的重要依據。

(三) PT--可直接看到裂縫形狀及大小，因此容易量測裂縫長度，但無法得知裂縫深度，需藉助超音波檢測或 TOFD 檢測，以評估裂縫的影響程度，以作為後續維修處理方法的重要依據。

## 陸、心得和感想

此次係本人第一次至日本東京日本製鋼所（JSW）參訪，經由該公司相關技術人員所做的簡報及簡報後大家互相的討論，讓我更進一步了解新製高溫高壓厚壁反應器製作過程的艱辛、嚴謹及使用後高溫高壓厚壁反應器檢查工作的不易及複雜，個人本次參訪日本製鋼所，對於該公司高溫高壓厚壁反應器的製造、檢查技術、資料蒐集及企業管理，有以下幾點心得與感想供參考：

- (1) 反應器使用狀況資訊的建立--搜集反應器使用的各種異常資料，了解成因，藉以不斷改進材料、製造及檢查技術。
- (2) 實事求是，技術本位—依相關規定製作，每個步驟都不馬虎，不圖快，踏踏實實地一步一腳印的逐步完成。
- (3) 持續進行研發(R&D)，精益求精--以科學方法不斷進行材料及製造技術的研發，使得材料及製造技術能不斷創新，精益求精。

- (4) 一貫作業，掌控品質—從材料開始，然後設備製作、檢查及最後結果評估，進行一系列的製程整合，以有效掌控各環節的品質。
- (5) 翻新檢測技術，增進檢測效果—日本製鋼所（JSW）厚壁反應器的製作檢查，由最早期的射線檢測（RT）改為傳統脈波回波式（Pulse Echo）超音波檢測，再改為 TOFD 檢測，隨著檢測技術的不斷進步而翻新，減少檢查的盲點，增進檢測的速度與效果。
- (6) Team Work--「群策群力，上下一心」是任何企業能維持不墜的不二法門。

## 柒、建議事項

- 一、高溫高壓厚壁反應器因其壁厚皆相當厚(檢查不易)，使得可採用的非破壞檢測方法受到一些限制，一般不易使用射線檢測法（RT）進行檢查，對於壁厚反應器超音波檢測法（UT）或 TOFD 檢測法為較佳之選擇，但由於國內目前做超音波檢測（UT）或 TOFD 檢測的人員，技術參差不齊，因此建議應慎選具備相當經驗及技術之檢測人員，才能達到預定之檢測效果。
- 二、檢測技術及儀器日新月異，因此針對該高風險高溫高壓厚壁反應器的檢查，宜隨著檢測儀器的發展，選擇採用適當之儀器（如 TOFD），減少檢測盲點，以提高檢查的有效性，達到最佳之檢測效果。
- 三、高風險高溫高壓厚壁反應器潛在的問題相當複雜，檢查不易，建議先進行適當的評估分析後，再選擇各種合適的檢查技術逐一逐次的進行，以免檢查資源及時間的浪費。另外，為掌握高風險高溫高壓厚壁反應器的狀況，降低操作風險，建議規劃涵蓋所有銲道的適當檢查週期，採取計畫性分段、分次執行的方式，逐步完成檢查。
- 四、為正確進行後續適用性評估，建議建立裂縫（Crack）深度評估技術，TOFD 為一有效之裂縫檢測及尺寸量測儀器，建議逐步發展使用。
- 五、由於高風險高溫高壓厚壁反應器維修不易，建議建立適當修護技術和程序，以便適時掌握修護時間，並確保修護品質。
- 六、反應器進出口管線及其插管的銲道檢查，宜一併列入反應器本體檢查計畫中。
- 七、避免反應器回火脆性所引起龜裂問題，操作應嚴格遵守開停爐程序。
- 八、高風險高溫高壓厚壁反應器牽涉到搭架及拆保溫的問題，建議先行進行適當的規劃及評估，以節省檢查時間。

九、建議充分利用適用性評估技術(FFS)，以做為檢測後決定後續處理(繼續使用、修補、限制操作條件或汰換)客觀評估的工具。