

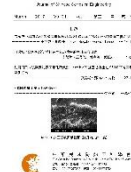


防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>

防蝕工程



10.6376/JCCE.201703_31(1).0004

800H 循環風扇側板破損分析 The Fractured Analysis of 800H Circulation Fan Side Plate

吳興練

Hsing-Lien Wu

中文摘要

本文研究 800H 循環風扇側板的破損原因。試驗方法為外觀觀察、成分分析、敏化試驗、材質金相與破斷面分析。綜合試驗結果研判，800H 側板破損機制為材質不均。側板的材質成分符合 800H 規範；草酸試驗顯示側板有敏化問題，材料強度降低；800H 應為沃斯田鐵組織的金相，但在側板裂紋破斷面兩側的上、下表面皆有柱狀晶，中間則是沃斯田鐵組織；中間的 Ni 含量與上、下表面的 Ni 相差 10% 以上，此區域已非原 800H 材料。研判側板局部受熱達 800H 的熔點溫度的高溫，液態合金靠傳熱冷卻，表面生長的柱狀晶；厚度中心位置溫度下降緩慢形成等軸晶的沃斯田鐵；導致 Ni 往受熱區遷移。破斷面很明顯分成兩側的崎嶇區與中間的平坦區，恰好對應到截面金相觀察所看到的三明治金相結構。破斷面起始於側板外緣的小缺口多；這些小缺口剛好碰到上、下表面都有柱狀晶的區域，在粗大柱狀晶區域裂紋裂的快，快速撕裂穿側板。

關鍵詞：循環風扇；側板；沃斯田鐵。

Abstract

This study the cause of damage to the 800H circulation fan side plate. The test methods of appearance observation, composition analysis, sensitization test, material metallography and fracture surface analysis were included. The results were shown the 800H side-plate failure by uneven matter. The material composition of the side plate met the 800H specification; oxalic acid test shown that the side plate had sensitization problems and the material strength was reduced; 800H should be the metallographic structure of the Austenite, but the upper and lower surfaces of the cracks on both sides of the side plate shown columns Crystals, the middle was Austenite; the

收到日期：107 年 12 月 24 日

修訂日期：108 年 01 月 07 日

接受日期：108 年 03 月 26 日

中鋼公司 綠能與系統整合研究發展處 產品應用技術組

Product Application Technical Section, Green Energy & System Integration Research & Development Dept.,
China Steel Corporation

*聯絡作者：140160@mail.csc.com.tw

difference of Ni content between the middle and the upper and lower surfaces were more than 10%, this area was not the original 800H. That concluded which side plate was locally heated to a high temperature of 800H melting point temperature, the liquid alloy cooled by heat transfer and the columnar crystal grew on the surface; the temperature at the center of the thickness dropped slowly to form equiaxed Austenite, meanwhile the Ni migrates to the heated area. The surface of fractured was clearly divided into the rugged area on both sides and the middle flat area, which corresponded exactly to the metallographic structure of the sandwich phenomenon shown in the cross-section metallography. The fracture started from the small gap at the outer edge of the side plate, which hit the columnar crystals on both the upper and lower surfaces, cracks quickly in the coarse columnar regions and torn through the side plates..

Keywords: Circulation fan; Side-plate; Austenite.

1. 前言

鋼鐵廠每座氫氣退火爐一氫氣循環風扇(C FAN)，原廠設計循環風扇側板材料會與鋼捲表面油脂發生滲碳反應而產生脆化裂紋；改用固溶強化耐熱合金，使用情況良好，但太貴，後採用 800H 鎳基合金以降成本，使用不久即發生風扇側板破裂，委託中鋼腐測試中心進行破損原因分析，以做為設備改善的參考。

2. 實驗方法

氫氣退火爐循環風扇由底板、葉片與最上方的側板組成(圖 1)，側板是較易破裂受損的位置；800H 為沃斯田鐵系組織鎳基合金材料，具有很好的耐熱性。由破損件外觀顯示，破損並未位於銜道或最大應力位置(葉片)，研究試驗的方向趨向材料本質的查核，試驗方法敘述如下：

- (1) 外觀觀察：觀察側板腐蝕與裂化狀況。
- (2) 成分分析：進行 ICP 成分分析，並與 800H 比對，研判材質成分是否符合。
- (3) 敏化試驗(10 wt%草酸試驗)^[1]：適用沃斯田鐵系組織的敏化試驗。操作時維持浸蝕液溫度為 20 ~ 50 °C，以試片為陽極，316L 鋼板或白金網為陰極，控制電流密度為 1 A/cm²，時間 90 秒。浸蝕後試片以 200 ~ 500 倍光學顯微鏡全面觀察之。若浸蝕後金相組織為階梯狀

(step)組織、混合(dual)組織、第一型蝕孔(end grain pitting I)及第二型蝕孔(end grain pitting II)，表示 800H 通過敏化試驗。若浸蝕後金相組織為溝渠狀(ditch)組織，表示 800H 未通過草酸試驗。

- (4) 材質金相與破斷面分析：分別利用光學顯微鏡(OM)、SEM 及 EDS 來觀察及分析側板的顯微組織、裂紋傳播情形及破斷面型態，進而推論出循環風扇側板的破壞機構。

3. 結果與討論

3.1 外觀觀察

氫氣退火爐循環風扇破損件如圖 1，循環風扇由底板、葉片(15 幅)與最上方的側板組成(圖 1)，經驗上，側板是較易破裂受損的位置。循環風扇是由高合金鋼組成的，且在全氫爐氛下操作，所以破損件外觀呈黑灰色，無明顯的腐蝕現象；除側板外，底板、葉片都無破損。側板是一片同心圓弧型鋼板，裂紋約略成輻射方向，裂紋位於二幅葉片之間；內側裂紋鄰近一葉片，外側裂紋較遠離同一葉片。整條裂紋的寬度，內、外側相當，看不出由哪一側起始；現場應力分析結果顯示，內緣為出風口，所受應力較大。現場將二幅葉片間的破損側板切下作為破損分析樣品如圖 2，有關破斷面、金相、成分分析等取樣位置標示在圖

2 中 破斷面與金相觀察 取側板裂紋內側 中間、外側三點，希望尋找破起始點，並對側板裂紋沿線破斷面與金相有更多的了解。



圖 1 循環風扇。
Figure 1 The image of C Fan.

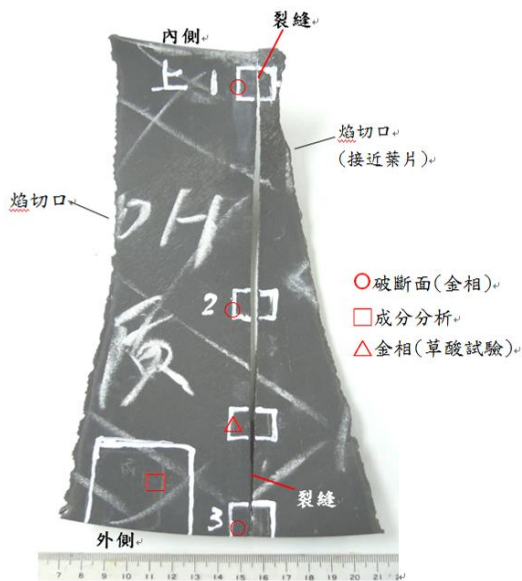


圖 2 破損樣品。
Figure 2 The specimen of fractured sample.

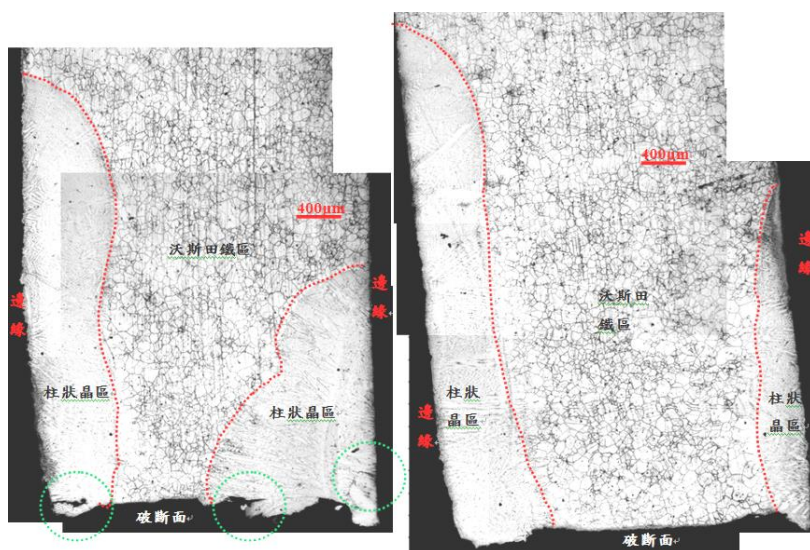
3.2 成分分析

側板的材質成分分析結果如表 1，主要成分為 C(0.096%)-Si(0.356%)-Mn(0.845%)-P(0.015%)-

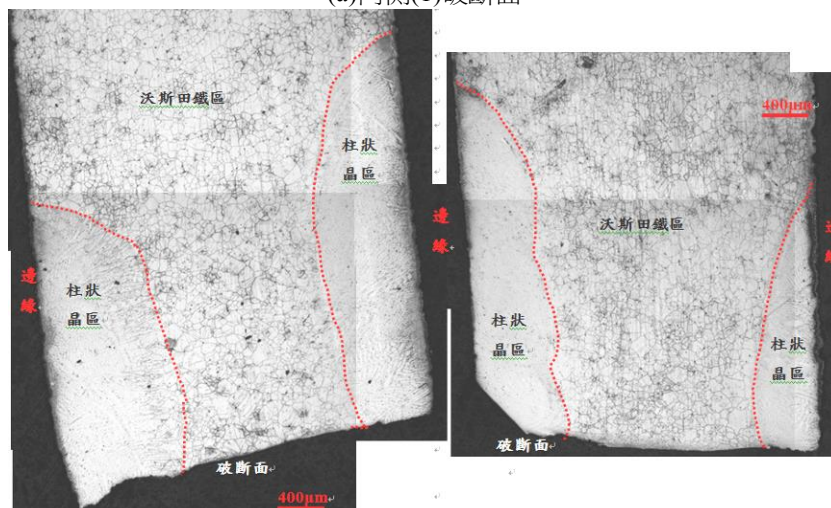
S(0.0025%)-Ni(30.78%)-Cr(19.33%)-Fe(45.76%)-Al(0.393%)-Ti(0.439%)；與 800H 規範^[2]中 C(0.05~0.1%)-Ni(30~35.0%)-Cr(19~23.0%)-Fe(>39.5%)-Al(0.15~0.60%)-Ti(0.15~0.60%) 相比較，符合 800H 規範，應無材質誤用的情形。

3.3 材質金相

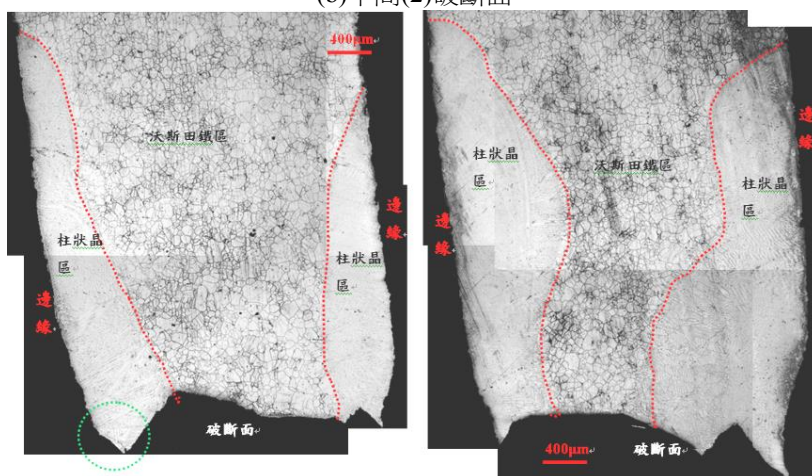
裂紋內、中、外側位置的 OM 截面金相觀察如圖 3，內側在表面有小裂紋，裂紋在近表面柱狀晶區域內，但無分支；中間位置的破斷面較平整；外側位置的破斷面較崎嶇，在表面有小裂紋，裂紋在近表面柱狀晶區域內，尖銳角撕裂狀外觀也分布在近表面柱狀晶區域內。800H 應為沃斯田鐵組織的金相，但在側板裂紋破斷面兩側的上、下表面皆有柱狀晶，中間則是沃斯田鐵組織。柱狀晶分布在裂紋兩旁，但深入截面的距離不等，像局部受到高溫所引起的相變化。取此種三明治截面金相圖細部觀察如圖 4，約略分為受熱表面邊緣區(A)、受熱影響與側板中間交接區(B)、側板中間區(C)、側板中間與受熱影響交接區(D)、受熱表面邊緣區(E)；(A)、(E)金相類似銲接組織，(B)、(D)金相類似銲接熱影響區組織，側板中間區(C)為沃斯田鐵組織，晶界線條較粗黑、若有較多的點狀析出物。將圖 4 的樣品拿到電子顯微鏡下觀察得到圖 5，SEM 金相觀察更清楚看到晶界線上點狀析出物，用 EDS 分析(A)、(C)、(E)區域的元素，發現(A)、(C)、(E)三區的 Cr 含量約略相當，但(C)區的 Ni(28.99%)明顯的比(A)、(E)二區少 10% 以上，差異很多；研判：側板局部受熱的溫度可能高達 800H 的熔點溫度，導致 Ni 往受熱區遷移，才呈現明顯的 Ni 含量差異。受熱區在側板裂紋破斷面兩側的上、下表面分布的深度與距離不一，顯示多點且不同時受到上、下雙面的熱源影響。



(a)內側(1)破斷面



(b)中間(2)破斷面



(c)外側(3)破斷面

圖 3 裂紋破斷面的截面金相。

Figure 3 The optical micrographs of the Crack's cross-section.

表 1 成分分析結果(%)。

Table1 The result of Composition analysis(%).

樣品	元素	C	Ni	Cr	Fe	Al	Ti
800H 合金 規範		0.05~	30.0~35.0	19.0~	>39.5	0.15~	0.15~
		0.10		23.0		0.60	
側板樣品		0.096	30.78	19.33	45.76	0.393	0.439

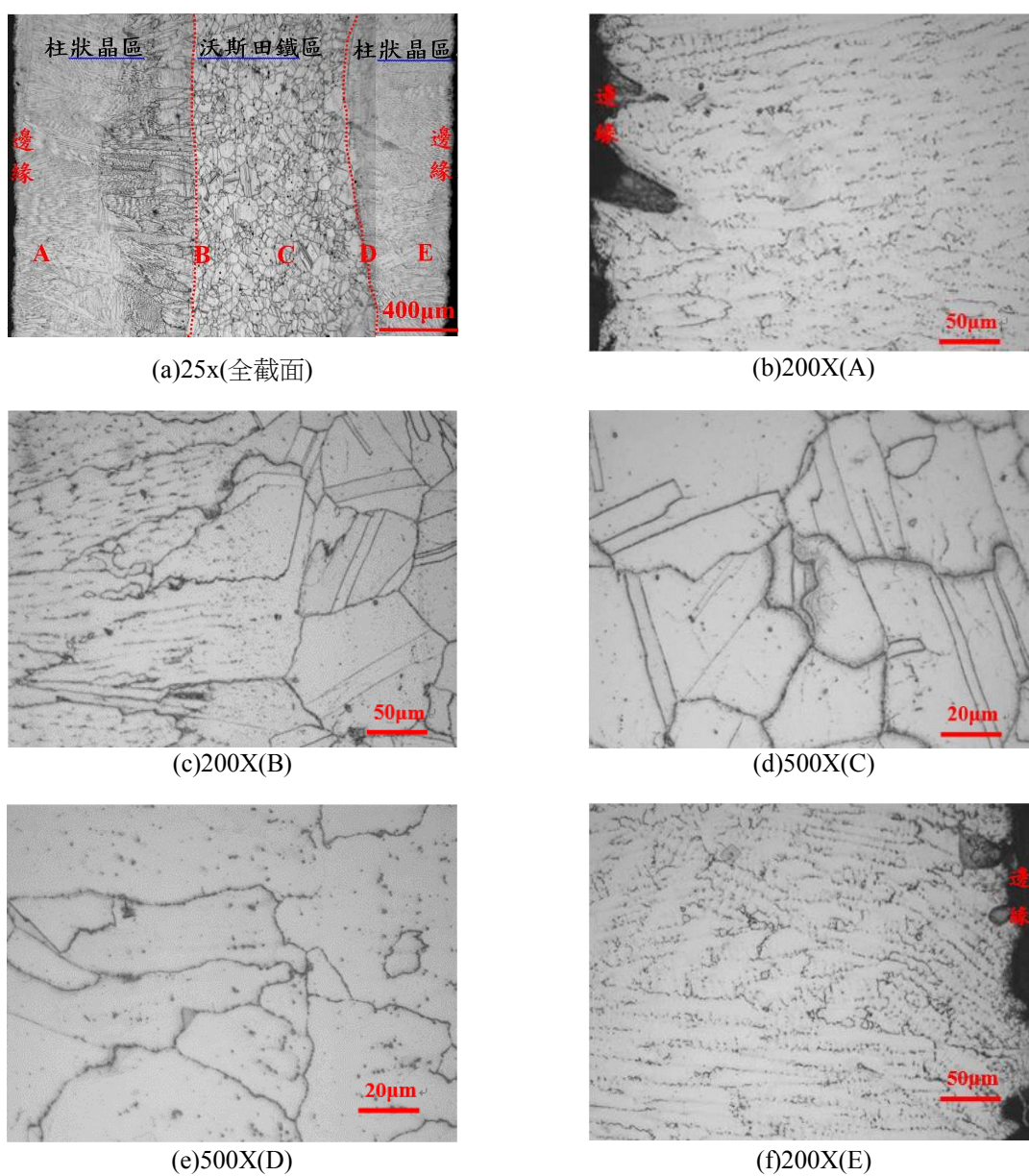


圖 4 截面 OM 金相。

Figure 4 The optical micrographs of the specimen cross-section.

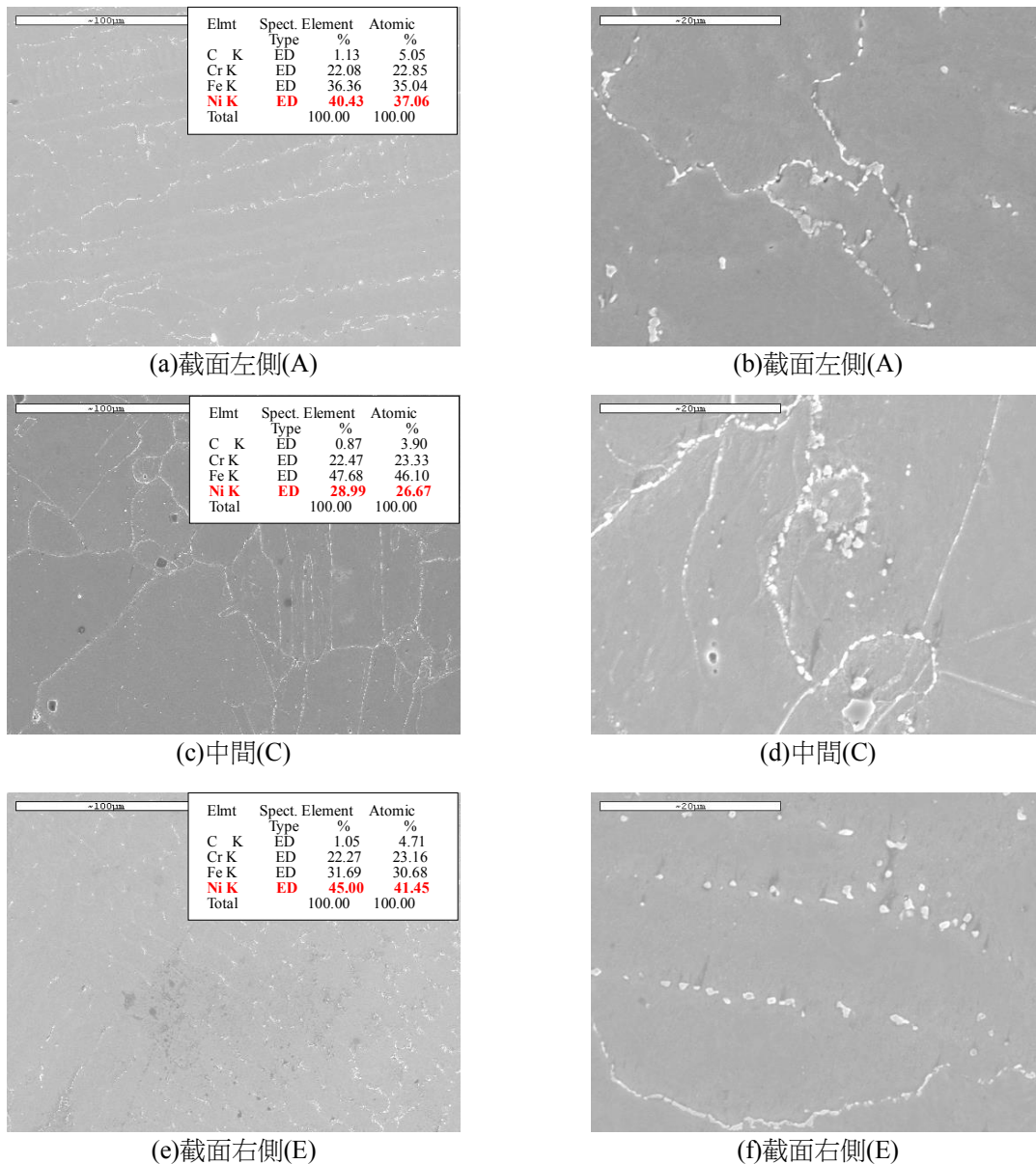


圖 5 截面 SEM 金相觀察與 EDS 分析結果。
Figure 5 The SEM images and EDS analysis of the specimen cross-section.

3.4 敏化試驗

無熱影響的側板截面金相如圖 6，整個截面皆呈現沃斯田鐵組織，有些長條形雙晶、點狀析出物分布其中，晶界線條較粗黑、若有較多的點狀析出物。草酸試驗結果如圖 7，晶界呈現溝渠狀，顯示該 800H 側板有敏化問題。

3.5 破斷面分析

側板破斷面裂紋內側、中間、外側三點的 SEM 觀察結果如圖 8、9、10。破斷面很明顯分成兩側的崎嶇區與中間的平坦區，這種三明治破斷面外觀，恰好對應到截面金相觀察所看到的三明治金相結構，兩側是分布深度不等的柱狀晶區，中間是沃斯田鐵組織。破斷面的柱狀晶區表面崎嶇外，還有單支橫向裂紋與小孔洞。破斷面的橫

向裂紋可能是沿著柱狀晶的晶界發展，破斷面的小孔洞有可能是部分晶粒剝離，或是 800H 中的含 Ti/Al 等析出物掉落；全氫爐循環風扇的轉速達 2100 rpm，衝擊力大，剝離破斷面上的部分晶粒與析出物可能受衝擊而掉落。側板破斷面裂紋外側的 SEM 觀察如圖 10，破斷面凹凸起伏較大，最外緣位置的破斷面如圖 10(a)，左側有一弧線延伸

(紅色點線箭頭)，外緣中間(紅圈)小台階缺口，放大來看(圖 10(c))有多處弧線，像是裂紋的起始點，除此之外，未見更明顯的起始點特徵。這些小缺口可能在側板外側外緣其他地方也有，如剛好碰到上、下表面都有柱狀晶的區域，在粗大柱狀晶區域裂紋裂的快，微細裂紋匯集成較大，有效厚度減薄，快速撕裂穿整個側板環帶。

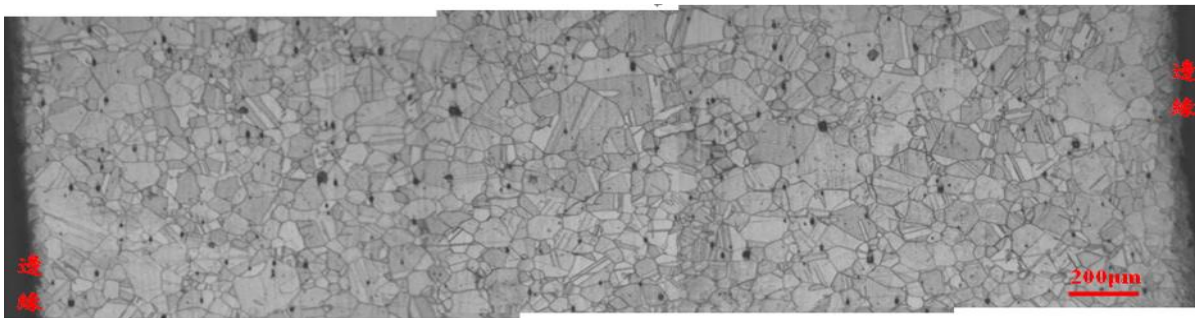
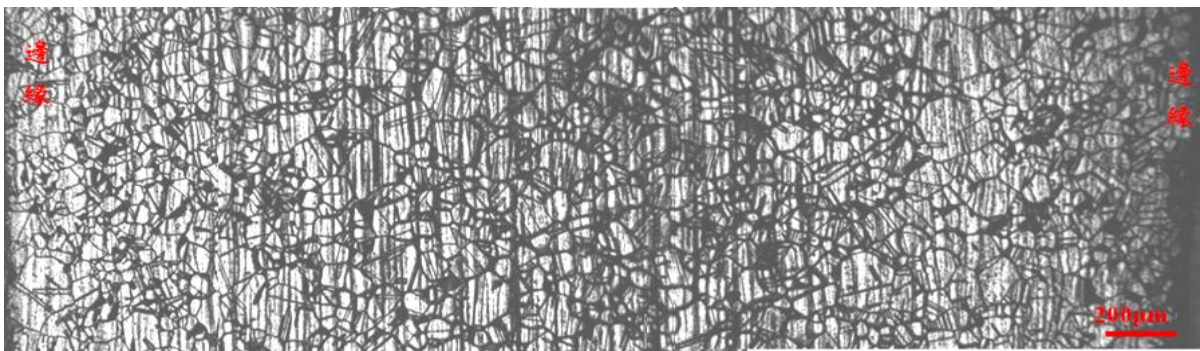
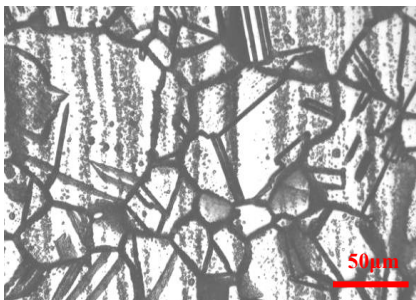


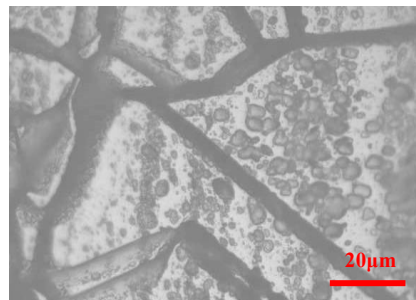
圖 6 截面 OM 金相。
Figure 6 The optical micrographs of the specimen cross-section.



(a)50X(全截面)



(b)100X(中間)



(c)100X(邊緣)

圖 7 草酸試驗後的截面 OM 金相。
Figure 7 The optical micrographs of the specimen cross-section after oxalic acid screening test.

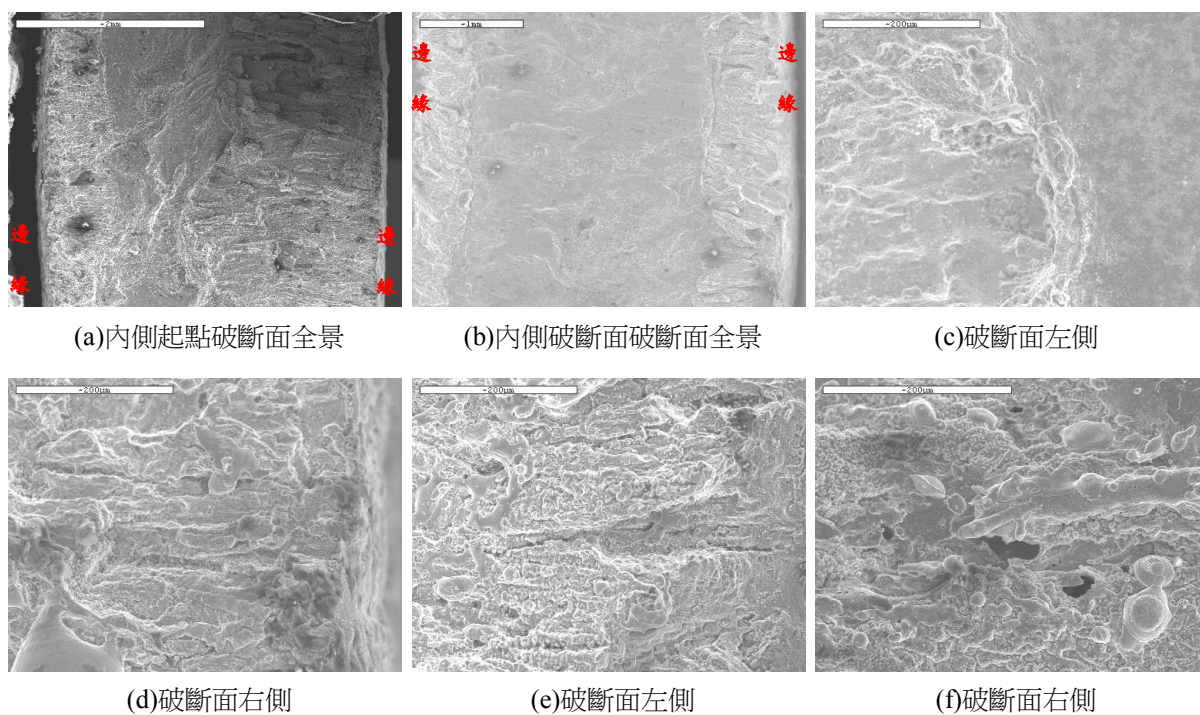


圖 8 破斷面(內側 1) SEM 金相。
Figure 8 The SEM images of the specimen fractographs at inner 1 location.

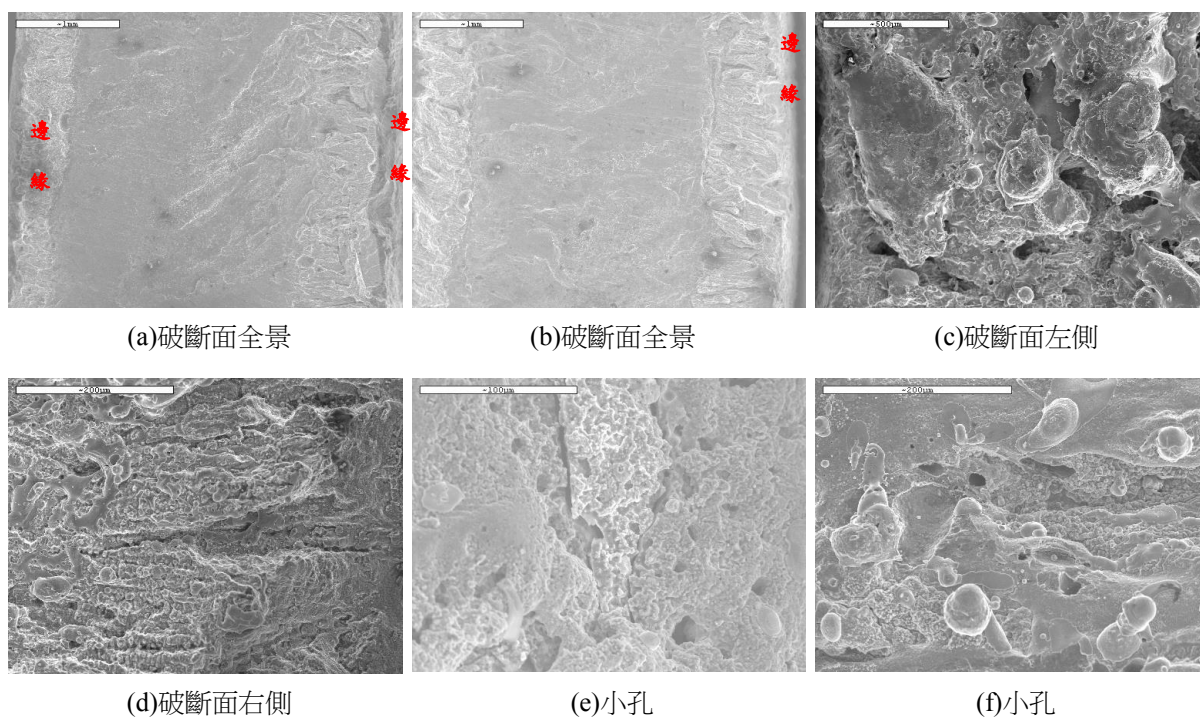


圖 9 破斷面(中間 2) SEM 金相。
Figure 9 The SEM images of the specimen fractographs at inner 2 location.

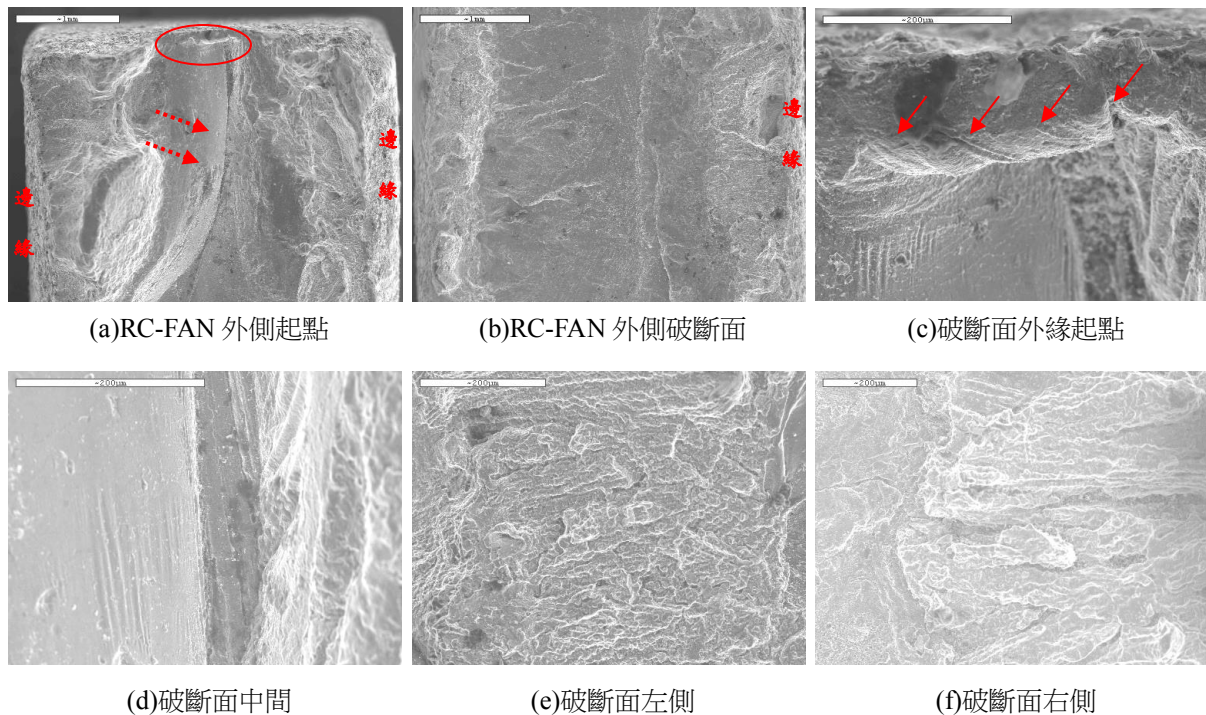


圖 10 破斷面(外側 3) SEM 金相。

Figure 10 The SEM images of the specimen fractographs at inner 3 location.

3.6 綜合研判

800H 側板有敏化問題，以及側板裂紋破斷面兩側的上、下表面皆有柱狀晶，中間則是沃斯田鐵組織；應是局部受到高溫熱後冷卻所形成的三明治組織現象。研判側板裂紋沿線受到 800H 熔點溫度(1300°C)^[3]的高熱；之後液態合金冷卻主要靠熱傳導，晶體便沿著平行於熱流方向朝與熱流方向相反的方向生長，成長為垂直於表面向厚度中心的柱狀晶；厚度中心位置因為溫度梯度不夠、溫度下降緩慢、生核率低，形成等軸晶的沃斯田鐵。敏化與表面粗大的柱狀晶，材料強度減弱，容易發生晶界開裂，破斷面起始於側板外緣中間的小缺口，這裡也是風扇旋轉應力最大的地方。這些小缺口剛好碰到上、下表面都有柱狀晶的區域，在粗大柱狀晶區域裂紋裂的快，微細裂紋匯集成較大，有效厚度減薄，快速撕裂穿整個側板環帶。側板為何會局部受到高溫熱？會不會在

800H 銲後熱處理的疏失？一般來說，為了避免 800H/HT 銲接部件在 538°C 以上發生的應力鬆弛而導致晶界開裂，需要在 899°C 進行銲後熱處理，保溫時間根據材料厚度每 25 毫米保溫一小時(至少半小時/25 毫米厚度)，然後再空冷。

4. 結果與討論

循環風扇的使用環境為氫氣批次退火爐，循環風扇轉速高，循環風扇側板在 850°C 時應具備一定的強度才能耐用。綜合試驗結果研判，循環風扇側板破損機制為材質不均。側板是一片同心圓弧型環鋼板，裂紋約略成輻射方向，裂紋位於二幅葉片之間，除主裂紋，無分支；側板的材質成分符合 800H 規範，有敏化問題；800H 為沃斯田鐵組織的金相，但在側板裂紋破斷面兩側的上、下表面皆有柱狀晶，中間則是沃斯田鐵組織；研判側板局部曾受熱達熔點溫度的高溫，液態合金

靠傳熱冷卻，表面生長的柱狀晶；厚度中心位置溫度下降緩慢形成等軸晶的沃斯田鐵。破斷面很明顯分成兩側的崎嶇區與中間的平坦區，這種三明治破斷面外觀，恰好對應到截面金相觀察所看到的三明治金相結構。敏化與表面粗大的柱狀晶，使材料強度減弱，容易發生晶界開裂，破斷面起始於受旋轉應力最大的側板外緣的小缺口；這些小缺口剛好碰到上、下表面都有柱狀晶的區域，在粗大柱狀晶區域裂紋裂的快，微細裂紋匯集成較大裂紋，快速撕裂穿整個側板環帶。

參考文獻

- [1] “不銹鋼沼氣輸送管腐蝕列化原因分析”，陳國銘、鄭竹逸，防蝕工程，第22卷第3期，2008，第176頁。
- [2] ASTM B409: Standard Specification for Nickel-Iron-Chromium Alloy Plate, Sheet, and Strip, 2016.
- [3] “鎳基合金材質特性介紹”，李名言，中工高雄會刊，第21卷第1期，2013，第29頁。