

文/林瀚詠、吳學文、林一峯與謝榮哲

端蓋固鎖螺絲破損分析



一、前言

使用在高溫（操作溫度：630~650°C，材質ASTM A 453）設備之端蓋固鎖螺絲於使用後，端蓋固鎖螺絲發生斷裂現象，故取固鎖螺絲斷裂品與新品（照片一）進行破損分析，以了解此固鎖螺絲產生斷裂之原因。

二、測試項目

- (1) 外觀檢視
- (2) 化學成分分析
- (3) 硬度分析
- (4) 金相組織
- (5) 掃描式電子顯微鏡（SEM）觀察及能量散佈光譜分析儀（EDS）微區成分分析

三、試驗結果

(1) 外觀檢視

觀察螺絲整體外觀，螺絲大多斷裂於螺絲頭部或螺帽鎖緊後第一牙位置（照片一），表面有黑色氧化層生成，斷裂面皆呈現快速破壞形貌（照片二至照片五）。

(2) 化學成分分析

使用分光分析儀進行螺絲成分分析，其結果如下表所示。其結果斷裂品與新品皆符合ASTM A453/A453M Gr.660材質規範規定。

樣品	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	Al	V	B
斷裂品	0.01	0.57	1.7	0.013	0.001	25.9	14.8	1.14	2.35	0.14	0.29	0.004
新品	0.03	0.17	1.3	0.016	0.001	24.2	13.6	1.12	2.19	0.21	0.27	0.006
Gr.660	<0.08	<1	<2	<0.04	<0.03	24-27	13.5-16	1-1.5	1.9-2.35	<0.35	0.1-0.5	0.001-0.1

(3) 硬度分析

使用洛氏硬度機進行硬度測試，其結果斷裂品與新品皆符合ASTM A453/A453M Gr.660硬度規範規定。唯其斷裂品之硬度（36HRC）已經接近規範硬度上限（HRC37）。

樣品	測試值 (HRC)	平均值 (HRC)
斷裂品	36 36 36	36
新品	30 29 30	30
Gr.660	24-37	

(4) 金相組織

取螺絲斷裂處與新品進行金相組織分析，斷裂螺絲牙谷有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態（照片六至照片八），而牙峯亦有裂痕與氧化層及粒間腐蝕破壞型態（照片九與照片十）；觀察斷裂螺絲斷裂面，斷裂成長方向由牙谷往心部成長，斷裂面表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態（照片十一至照片十四），而牙谷處有裂痕與氧化層及粒間腐蝕破壞型態（照片十五）並且往心部成長，心部位置之金相組織為沃斯田鐵基地組織，基地有碳化物析出（照片十六與照片十七）；新品心部位置管之金相組織為沃斯田鐵基地組織，基地有碳化物析出（照片十八與照片十九）。

(5) 掃描式電子顯微鏡（SEM）觀察及能量散佈光譜分析儀（EDS）微區成分分析

使用SEM觀察螺絲斷裂品斷裂表面，斷裂表面有呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層（腐蝕生成物）（照片二十至照片二十四）；使用EDS分析斷裂表面之成分，其成分有C、O、Al、Si、S、Ca、Ti、Mn、Cr、Ni與Fe等元素（光譜一與光譜二），顯示破裂面表面以氧化物與硫化物為主。



照片二：螺絲斷裂於螺絲頭部位置與螺帽鎖緊後第一牙螺紋處，表面有氧化層生成



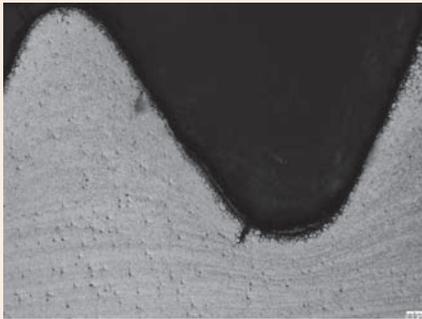
照片三：螺絲斷裂於螺帽鎖緊後第一牙螺紋處，表面有氧化層生成



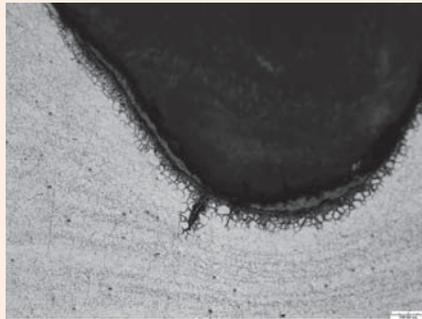
照片四：螺絲斷裂於螺帽鎖緊後第一牙螺紋處，斷裂面呈現快速破壞形貌



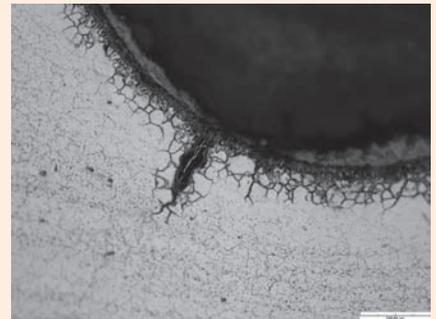
照片五：螺絲斷裂於螺絲頭部處，斷裂面呈現快速破壞形貌



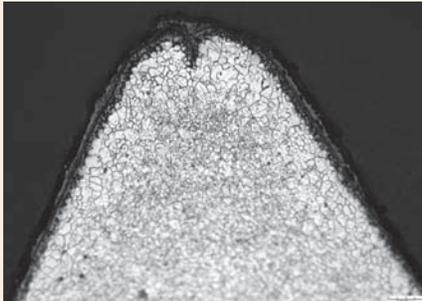
照片六：斷裂螺絲牙谷有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率50X



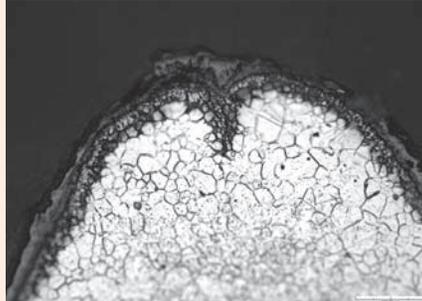
照片七：斷裂螺絲牙谷有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率100X



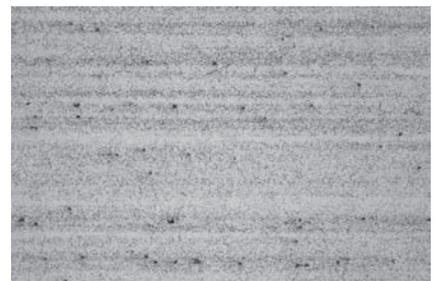
照片八：斷裂螺絲牙谷有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率200X



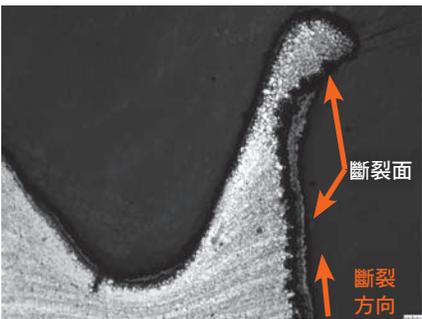
照片九：斷裂螺絲牙峯有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率100X



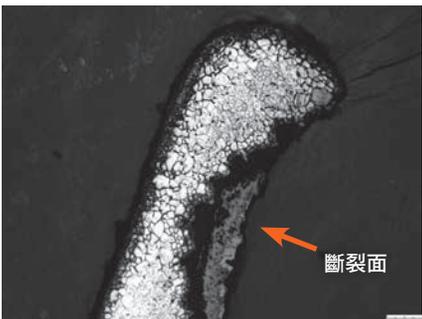
照片十：斷裂螺絲牙峯有裂痕生成，表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率200X



照片十六：斷裂螺絲心部組織為沃斯田鐵組織，倍率100X



照片十一：斷裂螺絲斷裂面由牙谷往心部成長，斷裂面表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，而牙谷處有裂痕與氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率50X



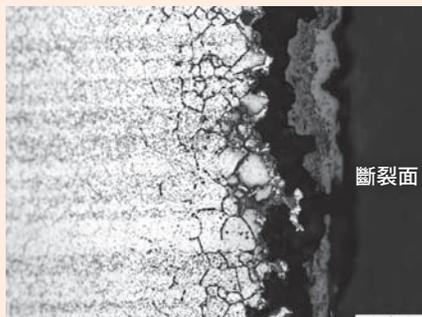
照片十二：斷裂螺絲斷裂面由牙峯往心部成長，斷裂面表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率100X



照片十七：斷裂螺絲心部組織為沃斯田鐵組織，倍率200X



照片十三：斷裂螺絲斷裂面表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率100X

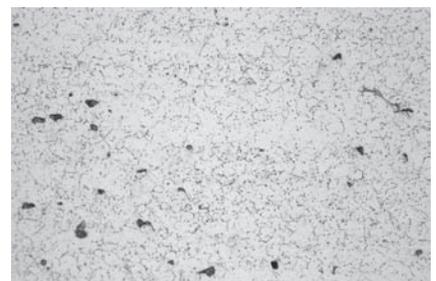
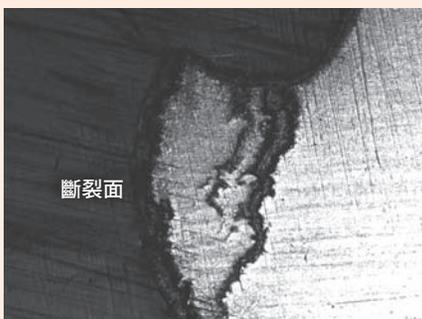


照片十四：斷裂螺絲斷裂面表面有氧化層及粒間腐蝕破壞型態，倍率200X

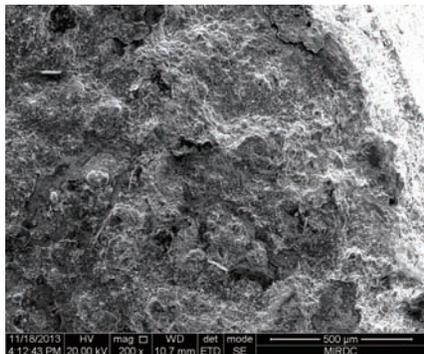


照片十八：新品螺絲心部組織為沃斯田鐵組織，倍率100X

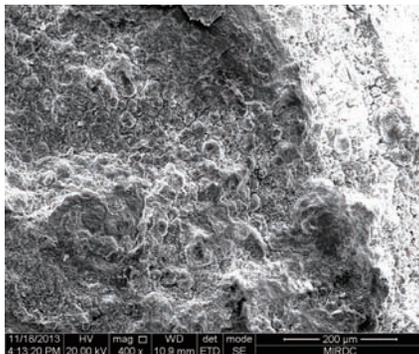
照片十五：斷裂螺絲斷裂面由牙谷往心部成長，斷裂面表面有氧化層，倍率50X



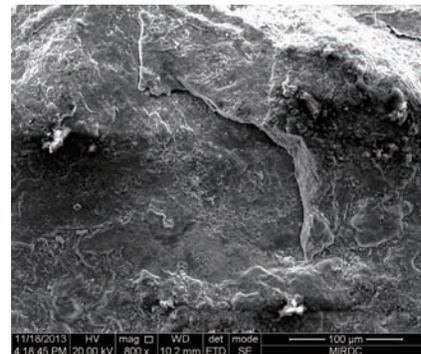
照片十九：新品螺絲心部組織為沃斯田鐵組織，倍率200X



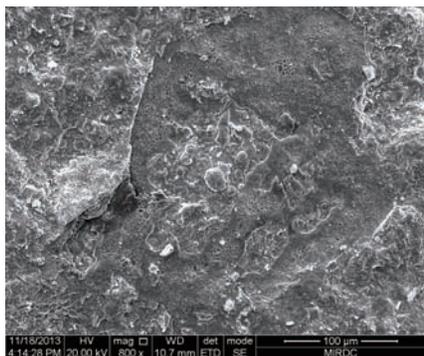
照片二十：螺絲斷裂面表面呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層



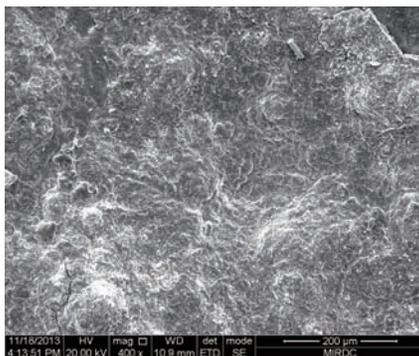
照片二十一：螺絲斷裂面表面呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層



照片二十二：螺絲斷裂面表面呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層



照片二十三：螺絲斷裂面表面呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層



照片二十四：螺絲斷裂面表面呈現撕裂狀破壞形貌，表面附著一層氧化層

四、結果與討論

(一) 檢視螺絲整體外觀，螺絲斷裂位置大多位於頭部與螺帽鎖緊後第一牙螺紋位置，表面有黑色氧化層生成，斷裂面皆呈現快速破壞形貌。

(二) 螺絲之成分與硬度符合 ASTM A453/A453M 規範規定，唯其斷裂螺絲硬度 (36HRC) 已經趨近於硬度上限 (37HRC)。

(三) 金相組織分析，斷裂螺絲斷裂位置於牙峯與牙谷處皆有顯示，且牙峯與牙谷皆有裂痕、氧化層與粒間腐蝕，故知此螺絲為高溫腐蝕破壞。觀察斷裂品與新品螺絲之心部組織皆為沃斯田鐵組織，但斷裂品基地組織中碳化物比新品稍多。

(四) 使用 SEM 觀察螺絲斷裂面表面，斷裂面以撕裂狀破壞與腐蝕 (腐蝕生成物) 破壞為主；使用 EDS 分析斷裂表面以氧化物與硫化物為主。

(五) 由上述試驗分析，此斷裂螺絲在高溫使用與每日起、停機狀況之運轉模式下，於螺絲表面產生氧化層與粒間腐蝕，進而生成微小裂痕 (牙峯與牙谷)，再加上長時間使用螺絲材質產生硬化 (脆化) 現象 (碳化物析出於基地，硬度升高)，故裂痕快速成長 (斷裂面呈現快速破壞型態)，最後造成螺絲快速斷裂。此螺絲破壞方式以高溫腐蝕破壞為主。

(六) 建議：

1. 運轉期間停機歲修時以超音波檢測螺絲，若已生成小裂紋則立即更換新備品，避免造成主機設備緊急停機之巨大損失。

2. 依目前固鎖螺絲於每日起、停機狀況之運轉模式下產生高溫腐蝕，對於固鎖螺絲本身之材料是否足以承受目前使用環境，可以考慮選擇更符合目前運轉條件之材料來改善之。

