

UME-326	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） S.H. Khodamorad, N.Alinezhad, D.Haghshenas Fatmehsari, K.Ghahtan : Case Studies in Engineering Failure Analysis 5-6 (2016) 59-66		本資料の作成者名 梅村文夫
整理番号	資料のタイトル Stress corrosion cracking in Type.316 plates of a heat exchanger		
失敗事例のタイトル 隙間での塩化物イオンの濃縮による応力腐食割れの発生			一次原因（材料要素） 応力腐食割れ、孔食、隙間腐食
機種 プレート式熱交換器	部品 熱交のプレート	材料 ステンレス鋼（SUS316）	使用環境 温水（軟水）
損傷発生時の状況 <p>ステンレス鋼 SUS316 製のプレート式熱交換器のプレートが、数年運転後に、ガスケットシール部で、割れを生じた。プレート熱交の板厚は 0.5 mm で、割れは板厚をほぼ貫通するに至っていた。熱交換器内を流れる水は、冷却する水（冷却水：CW）、冷却される水（輸送水：TW）のいずれも軟化水であった。なお、設計レベルの温度は次の通りであった。なお、後述のように、実際の温度は設計温度を超えていた。</p> <p>CW（冷却水：cooling water）：入口 38℃、出口 48℃ TW（輸送水：transport water）：入口 80℃、出口 70℃</p> <p>大部分の割れは上部ガスケットシール部（CW、TWの温度が高い側）で発生していた。また、これらの割れの周囲には、錆の層が見られた。</p>			
調査内容とその結果 <p>割れが発生した損傷部について、目視観察、光学顕微鏡、SEM（走査型電子顕微鏡）、EDS（エネルギー分散型X線分光法）等を適用し、調査を行った。</p> <p>1. 目視による外観観察 プレートにガスケットシート溝に沿って、分岐した割れが発生しており、また、これら溝の周囲には、複数の孔食が発生していた。また、シート部には隙間腐食も発生していた。ガスケットのシート溝には茶色がかかった錆の層が見られた。プレートの縁には、水中に含まれる浮遊物が付着したとおもわれる物が堆積していた。</p> <p>2. 顕微鏡観察 粒内割れと粒界割れの両方が混在する割れであり、割れは分岐しながら進展しており、応力腐食割れ（SCC）の形態を示していた。割れの起点と思われる個所に孔食が見られた。SEMで割れの先端を観測すると、腐食生成物が詰まっていた。また、金属組織的に、双晶の発生が観察された。双晶が生成していた事は、塑性変形を伴う高い残留応力あるいは負荷応力が発生していた可能性を示唆する。</p> <p>3. EDS分析 茶色がかかった錆の層をEDSで分析すると、ステンレス鋼の腐食生成物の成分であるFeとCrが検出されたが、Clも検出された。Clは、ステンレス鋼に孔食、隙間腐食、応力腐食割れを発生させる典型的な元素である。本事例においてもClが孔食、隙間腐食、割れの原因になった。</p> <p>4. 温度分布の測定 赤外線カメラを使用して、プレート式熱交のいくつかの部分について、温度プロファイルを評価した。その結果、熱交換器のTW入口側の温度が最も高く、約99℃であり、設計温度を超えていた。</p> <p>5. 装置の運転履歴 装置の運転履歴を調べると、約1年前、プロセスの変化に起因してTW（輸送水）の温度が過度に上昇した。そのため冷却水を増加させてTW出口温度を低下させる必要があり、上水（SW：service water）を一時的に使用した。</p> <p>6. 水質分析結果 CW（冷却水）、TW（輸送水）、SW（上水）水中の塩化物イオンを分析したが、いずれも1-3 ppmと低い値を示した。</p>			
損傷発生のシナリオ <p>プレートとガスケット間の隙間で、水中の塩化物イオンが濃縮した。温度が高いTW水の入口側（CW水の出口側）では、水の蒸発も手伝って、塩化物イオンがより濃縮し、温度が高い事が重なり、孔食、隙間腐食、応力腐食割れ（SCC）が発生した。SCCを引き起こした応力因子は、冷間加工による残留応力、熱交の運転温度/圧力変動に起因する応力と考えられる。（運転履歴によると、約1年前、プロセスの変化に起因してTW（輸送水）の温度が上昇した。この期間の運転温度の上昇が、腐食の発生に大きく影響を及ぼした）</p> <p>プレートの縁に、SW水使用時に付着したと思われる水中の浮遊物の付着物が見られたが、これらの付着物は隙間腐食の発生を誘発した。</p>			

対策（損傷発生時にとられた対策あるいは現在とるべきと考えられる対策）	
冷却水の量を増やし、流速を早くし、輸送水入口側の温度上昇を抑制する。	
教訓	
水中の塩化物イオンの濃度が低くても、塩化物イオンは隙間で濃縮するので、隙間では、孔食、隙間腐食、応力腐食割れを生じる。温度を過度に上昇させない事が重要である。	
備考	
（採録者コメント）約1年前、プロセスの変化に起因してTW（輸送水）の温度が過度に上昇し、そのため冷却水を増加させるため、上水（SW：service water）を一時的に使用した。この時の水に塩化物イオンが相当含まれていた可能性が指摘できる。	
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/csefa	
主要因	教訓とすべき対象者
チェックボックス	チェックボックス
<input type="checkbox"/> 当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="checkbox"/> 設計者
<input type="checkbox"/> 情報伝達不備・不足	<input type="checkbox"/> 製作者 / 建設担当者
<input checked="" type="checkbox"/> 担当者不勉強/教育不十分/意識不測	<input type="checkbox"/> 検査者
<input type="checkbox"/> 指示ミス	<input checked="" type="checkbox"/> 使用者
<input type="checkbox"/> うっかり、ぼんやり	<input type="checkbox"/> メンテナンス者
<input type="checkbox"/> その他	<input type="checkbox"/> その他