

UME-318	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） 報告書,2016: Metallurgical Technologies,INC.		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 and Intergranular Corrosion of a 316Ti Stainless Steel Preheater Tube		
失敗事例のタイトル 管拡管時の残留応力による応力腐食割れの発生		一次原因（材料要素） 腐食/孔食、粒内応力腐食割れ	
機種 予熱器	部品 U字チューブ	材料 オーステナイト系ステンレス鋼/ 316Ti	使用環境 チューブ内：プロセスガス チューブ外：燃焼ガス
損傷発生時の状況 <p>U字チューブを使用した縦型の予熱器（管板は下側のみに設置されている構造）の316Ti製チューブの管拡管部（管板部近傍）で、貫通亀裂が周方向に発生した。</p> <p>本チューブは、プロセスガスを予熱するチューブであり、チューブ（外側）は燃焼ガスで加熱され、チューブの内部にはプロセスガスが流れていた。</p> <p>貫通亀裂の発生した個所は、プロセスガス入口側で、チューブの外側は断熱材のライニングが施されており、燃焼ガスに直接曝されない（燃焼ガスによって直接加熱されない）、温度の低い個所であった。</p>			
調査内容とその結果 <p>貫通亀裂は、管板近く（低温部）の、チューブのロール拡管部の端部でのみ発生していた。非拡管部のチューブ内径は2.015インチに対して、拡管部は約2.04インチに拡管されていた。</p> <p>亀裂はチューブ内面側から発生しており、割れ形態は、塩化物イオンによって発生する場合には見られる典型的な粒内割れを示していた。チューブ内面には、酸化物の堆積が観察され、堆積物を取り除くと孔食の発生が見られた。</p> <p>プロセスガスの組成は以下の通りであった： 水素 40.3%、二酸化炭素 17.1%、一酸化炭素 20.8%、水蒸気 18.6%、メタン 2.0%、窒素 1.2%、微量の硫化水素（～10-30ppm）。ガス成分以外に、水蒸気成分等からもたされた液体成分を含んでいた。</p> <p>プロセスガスの入口側（亀裂が発生した近傍）のガス温度は80℃であり、出口側のガス温度は燃焼ガスにより加熱され約370℃に達していた。</p> <p>チューブ内面と貫通した亀裂の破面上のそれぞれの堆積物の元素分析を行った結果、いずれの堆積物も、主成分は鉄と酸素からなる腐食生成物であったが、微量ながら塩素と硫黄が検出された。塩素と硫黄の濃度割合は、チューブ内面より破面上の堆積物において、より多く観察された。</p> <p>チューブ材質の化学分析の結果では、Tiが添加されたオーステナイト系ステンレス鋼（安定化ステンレス鋼）であり特に問題点は無かった。</p>			
損傷発生のシナリオ <p>亀裂がチューブのロール拡管部の端部でのみ発生していたことから、割れの応力因子はロール拡管による加工残留応力である事が分かる。</p> <p>チューブ内面の堆積物中に微量の塩素と硫黄元素が検出され、破面の堆積物中で、それらの濃度がより高かった。これらの成分はプロセスガスに含まれていた微量成分が、堆積物中に混入したと判断できる。これらの成分が孔食や割れの発生に関与したと判断できる。特に塩素（塩化物イオン）は、ステンレス鋼において、孔食や割れの発生を誘発する成分として良く知られている。</p> <p>亀裂（粒内割れ）が貫通していた個所は、プロセスガス入口側（管板に近い個所）で、温度が比較的低温、湿気が存在し、腐食を誘発しやすい環境であった。</p> <p>これらの因子が重畳し、孔食や貫通割れが発生した。</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） <p>残留応力を低減する為には、チューブの拡管の程度はなるべく小さくする。</p> <p>耐SCC性のあるステンレス鋼を使用する。</p>			

教訓			
プロセスガスは非酸化性と推測される。一般に非酸化性環境では塩化物による応力腐食割れは生じにくいとされている。今回の事例では、温度が 80℃以上であり、塩化物イオンの存在、残留応力が高かった事が割れの発生に影響したと判断される（データ採録者加筆）			
備考			
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 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 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

2 ページ以降に写真、図表等を添付してください