UME-139	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） 大西浩三：材料と環境 2008 講演集、B-312、249～（2003）		本資料の 作成者名 梅村文夫.
整理番号	資料のタイトル 排水環境でのチタン製熱交換器伝熱管の水素脆化に関する調査結果		
失敗事例のタイトル チタンは、脱気環境でかつ皮膜が壊されるような条件では、水素化物を形成し脆化する			一次原因（材料要素） 水素脆化
機種 多管式熱交換器	部品 伝熱管	材料 チタン (ASME SB Gr.2)	概略の寸法 外径 1 9.05mm 長さ 5000mm 肉厚 1.2mm
損傷発生時の状況 チタン製伝熱管を抜管して調査した結果、伝熱管外面側に局所的な水素化物の形成が認められた。水素化物が形成されている箇所は、伝熱管と管板（チタン製、母材は炭素鋼）もしくはバッフルプレート（オーステナイト系ステンレス鋼：SUS304 製）との接触部であった。シェル側（管外側）は、脱気された排水（入口温度 154℃、出口温度 35℃）が流れており、管内は冷却水（海水）が流れる。使用後 7 年後の調査結果である。			
調査内容とその結果 ①割れの有無を確認するために、管に 1%の永久歪を与えた後に浸透探傷試験を実施した結果、割れは管板もしくはバッフルプレートとの接触部位で発生していた。断面マイクロ観察を行った結果、割れ発生部位には水素化物が形成されており、割れは水素化物中を進展していた。水素化物は管と管板との接触部よりも、管とバッフルプレートとの接触部の方がより深く形成されていた。接触部では軽微な減肉が認められた。 ②再現試験として、チタンと SUS304 とが互いに擦れるようにして、温度 50℃、100℃、154℃で、チタンの水素吸収と電位測定を行った。その結果、脱気水中で行った試験では、擦れ部で減肉が認められ、減肉部では水素化物の形成が認められた。一方、大気下の水中（脱気なし）では、擦れ部で減肉は見られたものの水素化物形成は認められなかった。チタンの電位は、大気下の条件では+0.1V(NHE)付近であった。一方、脱気条件では SUS との擦れによって、チタンの電位は約-0.4V(NHE)まで急激に低下した。			
損傷発生のシナリオ 脱気条件の排水環境で、チタン管は、バッフルプレート（SUS）と擦れることによって、酸化皮膜が破壊され、チタンの電位は水素発生電位まで低下した。その結果、チタンは溶解（アノード反応）し、カソード反応で水素が発生し、その水素がチタン中に吸収されて水素化物を形成した。 再現試験で、大気下の水中では水素化物形成が認められなかった。これは擦れにより酸化皮膜が破壊されても、溶存酸素により直ちに不動態化することと、溶解が生じて電位が高いためカソード反応は溶存酸素の還元が主反応となり、水素は発生しないためと考えられる。			
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） 耐食性の優れた高級オーステナイトステンレス鋼の使用が考えられる。			
教訓 チタンの優れた耐食性はチタンの酸化皮膜の保護能力による。したがって、酸化皮膜の形成が阻害されるような「脱気水中+擦られる条件」では、チタンといえども耐食性を保持することは出来ない。			
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	
☐	当時の技術レベルでは不可抗力	☐	設計者
☐	情報伝達不備・不足	☐	製作者 / 建設担当者
☐	担当者不勉強/教育不十分/意識不測	☐	検査者
☐	指示ミス	☐	使用者
☐	うっかり、ぼんやり	☐	メンテナンス者
☐	その他	☐	その他

2 ページ以降に写真、図表等を添付してください