

UME-316	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） S.Topolska, J.Labanowski, and M.Glowacka: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Volume55 Issue2 December 2012			本資料の作成者名 梅村文夫			
整理番号	資料のタイトル Failure of austenitic stainless steel tubes during steam generator operation						
失敗事例のタイトル 塩化物イオンを含む環境におけるオーステナイト系ステンレス鋼の腐食		一次原因（材料要素） 腐食/ 孔食、隙間腐食、応力腐食割れ					
機種 ボイラ	部品 チューブ	材料 オーステナイト系ステンレス鋼/AISI 321	使用環境 ボイラ水				
損傷発生時の状況 圧力 12~16 bar, 蒸気温度（出口蒸気温度）160°Cのボイラが、運転開始後 6 ヶ月で、ボイラ管からボイラ水が漏洩した。							
調査内容とその結果 チューブは冷間加工仕上げのシームレスチューブで、サイズはΦ23×2.3 mm t であった。 化学分析の結果は、次の通りであり AISI321 規格値を満足していた：Cr17.4 Ni8.8 Ti0.31(wt%)。チューブ内面のマクロ観察の結果は以下の通りであった。 ① 周溶接個所の溶接熱影響部において周方向に多数の亀裂が発生、亀裂はいずれも粒界腐食を起点としていた。溶接熱影響部の粒界には炭化物が生成しており、これらの個所が溶接入熱により鋭敏化温度域（500~800°C）に曝された事を示していた。 ② 溶接金属ルート部に、溶接不良に基づく亀裂、ポイド、くぼみが存在していた。これらの溶接接合不良個所を起点とした腐食（孔食、隙間腐食）が発生していた。 ③ チューブ外面側から当て板溶接も行われていたが、当て板部分の内面側で腐食が発生していた。 ④ 母材部でも、孔食（応力集中部）を起点として亀裂（粒内割れ）が発生していた。 ⑤ 孔食のクラスター（小さな幾つかの孔食が部分的に集合した個所）が見られた。 ⑥ 厚い暗い色調の堆積物（層）が幾つかの個所で、部分的に存在した。 スケール・堆積物の調査結果は以下の通りであった。 ① 孔食上の堆積物は2層構造になっており、内層（孔食直上の層）は強く固着しているが、外層は厚く脆い付着物であった。ボイラ水が蒸発する近傍の外層の厚さは、最大 500μm に達していた。 ② X線マイクロアナライザーの分析結果では、内層、外層いずれの堆積物からも、O Na Ca Mg Si K S が高い濃度で検出された。外層上に小さな球形状の堆積物が散在していたが、この堆積物からは、Cl が高濃度で検出された。 母材部において、孔食を起点として発生した粒内割れが発生していたが、孔食及び亀裂内の腐食生成物・堆積物の分析結果は以下の通りであった。 ① 孔食内の腐食生成物・堆積物 Cl 0.42 Ca 1.49 P 1.02 (wt%) その他母材金属成分 ② 亀裂内の腐食生成物・堆積物 Cl 0.50 Ca 2.04 P 0.44 (wt%) その他母材金属成分							
損傷発生のシナリオ 堆積物の中に水質の硬度成分（Ca Mg）が高濃度で検出された事実は、ボイラへの給水（補給水）処理が適切に行われてなかった事を示す。 厚い堆積物は、伝熱阻害因子となり、ボイラ鋼管を過度に加熱し、変形、亀裂等の原因となる。 堆積物の下では、腐食性成分を含んだ水が蒸発・濃縮し、腐食（デボシット アタック）を発生・加速する。 溶接部不良個所や溶接欠陥部では、隙間を形成し、溶存酸素の供給不足から、表面の保護皮膜は不安定となる。 不活性ガスを使用しないで当て板溶接を行うと、その個所の内面では酸化物皮膜を形成し、腐食しやすくなる。 堆積物中に Cl が高濃度で検出されたが、このことは堆積物中で塩酸を生成する因子となり、pH を低下させ、堆積物下の孔食の成長を加速する。 塩化物イオンは、オーステナイト系ステンレスに対して、各種腐食（孔食、隙間腐食、粒界腐食、応力腐食割れ）要因となる。 以上の事から考慮し、損傷シナリオは以下の通りと判断できる。 溶接は TIG 溶接で実施されたが、イナートガスによるシールが不十分であった。そのため、溶接不良個所や溶接欠陥を生じた。また当て板溶接部のチューブ内面には、クロムを主とする酸化物層が形成され、酸化物層に起因するクロム欠乏層が形成された。							

塩化物イオンは、オーステナイト系ステンレスの溶接欠陥部に各種腐食（孔食、隙間腐食、粒界腐食、粒界型応力腐食割れ）を誘発するとともに、母材部では孔食と孔食を起点として粒内応力腐食割れを発生した。
応力腐食割れの応力因子としては、溶接残留応力、冷間加工残留応力、運転応力等が要因となった。

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）

本損傷事例は、設備の寿命を延ばすため、低合金鋼からオーステナイト系ステンレス鋼に変更した後、短時間で生じた漏洩事例である。オーステナイト系ステンレス鋼は、塩化物イオンによって様々な腐食を発生するから、対策として、低合金鋼に戻すとともに、水質管理を強化する必要がある。

また、溶接管理（溶接入力、シールドガス等）、溶接後の溶接部の表面の清浄化処理（研磨、化学洗浄等）、溶接や冷間加工の応力除去焼鉈等は応力腐食割れ対策となる。

教訓

塩化物イオンが含まれる水質環境では、低合金鋼からオーステナイト系ステンレス鋼に変更したからといって、設備寿命が延びるとは限らない。

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		
<input type="radio"/> 当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="radio"/>	設計者	
<input type="radio"/> 情報伝達不備・不足	<input type="radio"/>	製作者 / 建設担当者	
<input checked="" type="radio"/> 担当者不勉強/教育不十分/意識不測		検査者	
指示ミス	<input type="radio"/>	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