

お役に立ちますSMT

●腐食による 損傷の事例と原因・対策(その2)

前回に引き続き、腐食による損傷の事例と原因・対策についてご紹介します。前回は、①腐食損傷の解析方法、②局部腐食の形態と損傷事例を中心に述べました。今回は、③腐食割れの形態と特徴、④腐食損傷事例と原因・対策についてご紹介します。

腐食割れの形態と特徴

腐食割れは、応力腐食割れ(SCC)、腐食疲労、水素脆化割れに大別されます。割れの形態と特徴を[図1]に示します。

SCCと腐食疲労は、腐食作用と応力との複合作用により金属に割れを生じる現象です。SCCは、炭素鋼、ステンレス鋼、銅合金、ニッケル合金、アルミ合金などに起きます。腐食疲労は、腐食環境下で繰り返し応力により表面保護皮膜が局部的に破壊され、腐食が集中的に進行し割れに至るものです。引張り応力が常に作用する場合はSCCとなります。

SCCはとくに引張り応力(残留応力または外部負荷応力)と腐食環境が同時に進行したときに生じる特異な腐食現象であり、特定の材料と環境の組み合わせで起こります。SCCの経路は金属・環境の組み合わせによって異なり、一定していません。ある組み合わせでは割れは結晶粒を貫いて進み(粒内割れ)、別の場合には結晶粒界に沿って進みます(粒界

割れ)。SCCが起こる材料・環境の組み合わせを[表1]に示します。SCCは環境・応力・材料の3要因と重量によって発生するため、3要因のうちいずれか1要因を軽減させ、重なりをなくせば防止することができます。

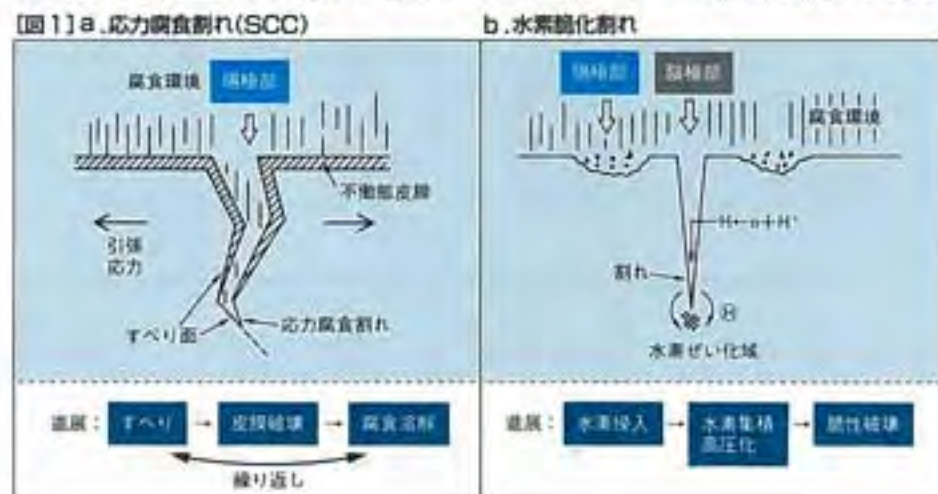
一方、水素脆化割れには水素脆性と水素誘起割れの2種類があり、特徴を[表2]にまとめて示します。

腐食割れは、亀裂先端部におけるアノード反応(金属が溶解する陽極反応)とカソード反応(水素発生時の陰極反応)の同時進行によって起こるので、亀裂先端部でのアノード溶解が主役となる(SCC)か、吸蔵された水素が割れの原因となる(水素脆化割れ)かは判りにくい場合が多いものです。また、腐食以外の要因(熱的、機械的、組織的)で割れることもあるため、顕微鏡による割れ部の組織観察で腐食に起因しているか否かを識別する必要があります。

腐食損傷事例と防止対策

[表3][写真1]に、具体的な腐食事例と原因・対策の代表例を示します。

腐食は局部的に温度が高いなど、往々にして装置の設計上の問題に起因することがあります。すぐさま材料変更や防食コーティングなどを行うとコスト高となり、時には材料を変えたため新たな問題に出くわすこともあり



割れ形態	材料/環境 組み合わせ	発生要因
粒内割れ	炭素鋼/苛性水、H ₂ S水、CO-CO ₂ -H ₂ O、液安* オーステナイトSS/塩化物、高温水、苛性アルカリ* フェライトSS/H ₂ S水、NaCl* Ni基合金/HF Cu合金/NH ₃ 水*、アミン水*、高温蒸気* Mg合金/蒸留水、清水、K ₂ Cr ₂ O ₇ 含有NaCl	● 介在物 ● 析出物 ● 表面被膜 ● 材料欠陥
粒界割れ	炭素鋼/硝酸塩、NaOH、酢酸-メタノール オーステナイトSS/ポリチオン酸、SO ₂ -メタノール フェライトSS/高温蒸気、NaOH Ni基合金/苛性アルカリ、高温水 Al合金/海水、NaCl Cu合金/硫化物液 Ti合金/HCl含有アルコール、発煙硝酸	● 微量元素の粒界 ● 偏析 ● 粒界クロム欠乏 ● 粒界析出物 ● 粒界不整ほか

発生現象	水素脆性	水素誘起割れ
発生現象	腐食などによる応力集中部の発生と水素の侵入による脆化	鋼表面での水素原子の生成、介在物近傍での高圧水素の生成により割れ発生
材料要因	強度(硬度)が主要因、合金元素は2次的因子	鋼中の介在物(MnS、Al ₂ O ₃ など)
応力	引張り応力が必要	応力なくとも生じる
割れの特徴	主として粒界割れ、ヘーラインクラック	粒内割れ、介在物が起点
発生温度	室温 ~ およそ100℃	



腐食現象	発生部位	使用材料	原因	対策	写真1
全面腐食(アルカリ腐食)	ボイラー水壁管	低合金鋼	ボイラー水中の遊離アルカリが高温に濃縮して、蒸気管を腐食する。	(1) 水質基準の変更(リン酸ソーダ-AVT) (2) 蒸気管内面デポジションの管理と洗浄による除去	a
粒界腐食	化学工業プラント溶接熱影響部	SUS 304	脱酸に伴う粒界クロム欠乏部の優先腐食溶解による。	(1) 溶接後熱処理 (2) C量を低減させた“L”鋼の使用	
すき間腐食	海水熱交換器(多管式)	SUS 316L	管/管板(329J2L)すき間部で孔食+すき間腐食発生。	(1) 流路の整理 (2) 材質変更(削孔食-すき間腐食性相種であるCr+3Mo) 値の高いDP3(SUS329J2L)を使用	
渦食	海水器	アルミ黄銅	冷却海水の乱流、混入空気、砂などの異物の衝撃作用。	(1) 冷却水速度の管理 (2) 鉄イオン注入による保護皮膜の形成 (3) 電気防食の実施	*引(用)2
SCC(硝酸腐)	熱交換器鉄皮	炭素鋼(SS41)	空気の高湿加熱で発生したNOxの溶接熱影響部での凝結による硝酸生成により割れが発生。	(1) 溶接部残留応力除去焼鈍 (2) 硝酸酸 SCC鋼SF41の使用	b
SCC(塩化物)	熱交換器管	SUS 304	管板/管のすき間において濡れと乾きにより塩化物が濃縮し、溶接残留応力部で割れが発生。	(1) 運転条件の変更(水分の凝縮をさける) (2) 応力除去焼鈍 (3) 材質変更(フェライトステンレス鋼や2相ステンレス鋼の使用)	*引(用)1
水素脆化割れ	高力ボルト	高張力鋼	不完全ネジ部で濡れ腐食により割れが発生。ネジ底より粒界割れが発生し、進展部では層状剥離面となった。	(1) 材質変更	c

*引(用)1「損傷事例で学ぶ腐食・防食」(ニューマテリアルセンター編) 引(用)2「防食技術便覧」(腐食防食協会編)

●担当者メッセージ欄

クイズ

Q U I Z

これなーに?

例えば生体試料や有機塗膜など、絶縁物でかつ熱的損傷を受けやすい材料の表面形態観察には、当社所有の電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM)が活躍します。さて、「糸」もそうした材料のひとつですが、下の写真は私達が日常目にする糸(もつれさせたのはちょっとした悪戯心ですが)を、FE-SEMで観察したものです。これは一体何の糸でしょうか?

A 絹糸 B クモの糸 C ナイロン糸

※答えは次のクイズで発表します。前回(NO.7)の答えは、「A B(ボロン)」でした。多数のご応募ありがとうございました。

ます。対策には総合的な検討が必要であり、まずは設計構造面から、次いで環境面から、最後に材料面からの変更を考えるべきでしょう。とくに構造面では、単純構造で隙間や液の滞留部分が少ないこと、異種金属を直接接触させない構造にすること、過度の乱流を避けエロージョンが発生しにくい構造にすること、応力集中部が少なく腐食環境での強度に見合った低応力設計にすること、などの配慮が肝要と考えられます。