

UME-212	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） http://www.nucica.jp 通番 10438		本資料の 作成者名 梅村文夫.
整理番号	資料のタイトル 原子炉圧力容器計装ノズル配管の指示模様（割れ）の確認について		
失敗事例のタイトル 亜鉛を含有する防錆材（カーボンジンク）の付着に起因する亜鉛脆化割れ		一次原因（材料要素） 亜鉛脆化割れ	
機種 原子力発電原子炉	部品 圧力容器計装ノズル配管	材料 オーステナイト系ステンレス 鋼：SUSF316（備考①）	概略の寸法 径 50 mm、厚さ 10 mm
損傷発生時の状況 定期検査中の、原子炉圧力容器計装ノズル配管について浸透探傷検査（PT）を実施していたところ、ノズル配管溶接部近傍に指示模様（備考②）を 2 箇所確認した。指示模様の見られた箇所を約 0.3mm 磨いた上で再 PT を行った結果、当該指示模様を取り除けず、指示模様は割れに起因すると推測された。			
調査内容とその結果 ・指示模様について、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて外表面観察を行った結果、粒界に沿って割れていることが確認された。 ・断面観察の結果、割れの深さは最大で約 0.8mm 程度であり、粒界割れであることが確認された。 ・破面観察の結果、破面は脆性破面状の形態を示し、粒界割れの様相を呈していた。 ・割れ内部を EDX 分析により元素分析を実施した結果、ノズルの材料（ステンレス鋼 SUSF316）には含まれていない亜鉛が検出された。			
損傷発生のシナリオ ・割れ内部から亜鉛が検出されたことから、亜鉛脆化割れが生じたと判断された。ステンレス鋼の亜鉛脆化は、高温下でステンレス鋼が亜鉛と接触した場合に、亜鉛が金属組織内に拡散侵入し脆化を引き起こす現象である。亜鉛の存在と、亜鉛の融点である 420℃以上の高温が条件となり脆化が生じる。さらに、ここに引張応力が存在すると、粒界割れの様相を呈した亜鉛脆化割れに至る。亜鉛の浸透はごく短時間に、また引張応力下での粒界割れの発生も比較的短期間に生じる。 ・亜鉛付着時期と割れ発生時期について：亜鉛脆化割れは、亜鉛の融点（約 420℃）以上の高温が必要であり、プラント運転開始以降は当該部の温度はそのような高温に曝されていない（運転中の温度は約 280℃）。したがって、割れはプラント建設時に行った溶接時や溶接後のグラインダー加工により、亜鉛の融点以上に曝された時期に発生したものと推定される。モックアップ試験（備考③）の結果から、溶接時の当該部の温度は最大で約 550℃となること、グラインダー使用時の施工面温度は 450℃程度となることが確認された。以上より、当該ノズル部に亜鉛が付着した時期は、プラント建設時と推定される。原子炉圧力容器に塗布した防錆材（カーボンジンク）には亜鉛を含有しているが、防錆材の成分が接触付着した可能性が考えられる。以上の考察に基づくと、亜鉛脆化の発生プロセスは以下のようになる。 （１）プラント建設時の配管の溶接前もしくは溶接後の段階で、当該部に亜鉛を含む防錆剤や塗料が偶発的に付着した。 （２）外表面に微量の亜鉛が付着した状態で、配管を溶接、もしくはグラインダーによる除去を実施した際の入熱で亜鉛が溶融液化し、温度が低下するまでの間に亜鉛が約 0.8mm の深さまで浸入した。このとき、粒界の結合力が低下し溶接あるいはグラインダー加工により発生した引張応力により、亜鉛の浸入深さまで粒界割れが達した。			
対策（損傷発生時にとられた対策あるいは現在とすべきと考えられる対策） 配管を製作し、原設計と同じソケット溶接にて復旧した。			
教訓 防錆材（カーボンジンク）が付着している可能性がある場合は、きちんと取り除いてから、溶接あるいはグラインダー加工を行う。			
備考 ① SUSF の F は鍛造材である事を示す記号。 ② 指示模様：浸透探傷試験で割れ等に起因して、浸透液が表面ににじみ出す模様を指示模様、あるいは浸透指示模様、PT 指示模様と呼んでいる。 ③ モックアップ試験：実物と同様のものを作って試験をする事。			
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