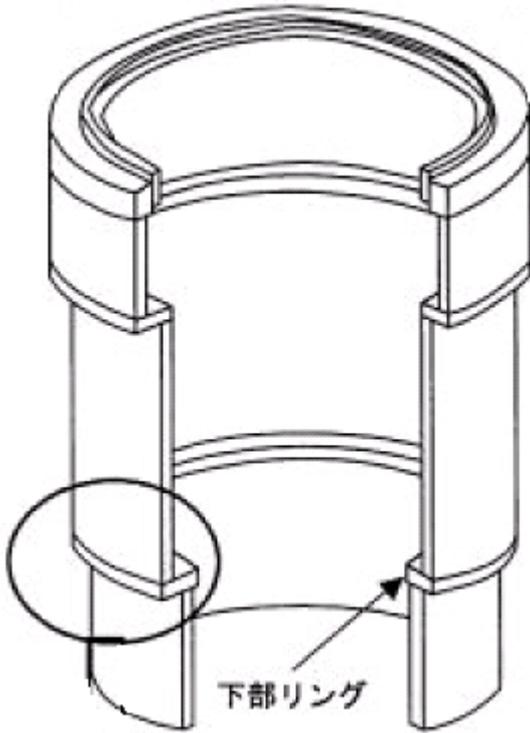


UME-207	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） http://www.nucia.jp 通番 244		本資料の 作成者名
整理番号	資料のタイトル シュラウド（図1参照）下部リングのひびについて		梅村文夫
失敗事例のタイトル 低炭素系ステンレス鋼でも表面硬化層があると高温水中で応力腐食割れを生じる			一次原因（材料要素） 応力腐食割れ
機種 沸騰水型原子力発電	部品 炉心シュラウド	材料 オーステナイト系ステン レス鋼 SUS316L	概略の寸法 内径5m、板厚100mm
<p>損傷発生時の状況</p> <p>定期検査中、炉内構造物である円筒状のシュラウドのリングに割れが確認された。割れは、リングの周方向の溶接部に沿ってほぼ全周に発見された。割れが発見された溶接部近傍の超音波による深さ測定を実施した結果、当該部の割れの深さは、最大で約2.6mm、平均で約1.6mmであった。炉内は原子炉水（冷却水：酸素を微量含む高温高純度水）が循環している。</p>			
<p>調査内容とその結果</p> <p>硬さ、金属組織、割れ形態等を調べた結果、外表面から約0.3mmの深さ（極表層部）には、すべり線が認められ、Hv300（ビッカース硬さ300）を超える硬化層が確認された。この硬化層に粒内割れが発生し、母材部（極表層部（硬化層）を除く部分）に、割れが粒界割れとして進展していた。</p> <p>表面硬さがHv300を超えた場合には、低炭素ステンレス鋼に粒内型応力腐食割れが発生することが文献等で確認されている。また、低炭素ステンレス鋼（SUS316L）は、耐粒界型応力腐食割れ性に対して優れているが、切欠きが存在する場合には、粒界型応力腐食割れへと進展することが文献等で確認されている（備考①）。</p> <p>使用環境は高温高純度水であるが、原子炉水の溶存酸素濃度は、約250ppbであり応力腐食割れの発生する環境である。有限要素法により当該溶接部近傍の溶接による残留応力を解析したが、当該溶接部の下側リング外表面には200～300MPa程度の引張り応力が発生していることが確認された。</p> <p>機械加工による再現試験結果で、切削速度／切り込み量の組合せ条件では、表面硬さがHv300を超える硬化層が認められた。</p>			
<p>損傷発生のシナリオ</p> <p>シュラウド製造時における下部リングの機械加工により、下部リング外表面から0.3mmの範囲にHv300を超える硬化層が形成された。溶接により溶接部近傍に引張り残留応力が発生した。高温高純度水環境であるが、微量の溶存酸素が存在するため応力腐食割れが発生する環境となり、表面から0.3mmの硬化層の範囲に粒内型の応力腐食割れが発生し、これを起点とし粒界型応力腐食割れが進展した（備考①）。</p>			
<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> <p>必要な肉厚が確保されていることから強度的な問題はないが、今後の運転に万全を期すため、タイロッド工法（備考②）による補修を行うこととした。</p>			
<p>教訓 低炭素系ステンレス鋼でも表面硬化層があると微量の溶存酸素を含有する高温純水中で応力腐食割れを生じる</p>			
<p>備考</p> <p>①低炭素系オーステナイトステンレス鋼の場合、切欠きがあると、粒界型の応力腐食割れが誘発される。表面近傍の硬化層で微小な粒内割れが発生すると、微細割れが切欠きとして働き、母材側で粒界割れへと進展する。この種の割れの進展速度は遅く、多くは10～20年後に確認されている。L材の母材側で粒界割れに進展するメカニズムは明確になっていないが、粒界の機械的特性が影響していると思われる。</p> <p>② タイロッド工法： タイロッドと呼ばれる長尺の支柱をもちいてシュラウドを上下方向に挟み込み締め付け固定する工法。シュラウドの上部リングと下部シュラウドサポートプレート部を挟み込むようにタイロッドを一定間隔で何本か取り付ける。シュラウド全体を締め付け固定することにより健全性を確保する。</p>			
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

	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

図1. シュラウドの概念図



シュラウド:

円筒状のステンレス製構造物。炉内構造物の一つで、燃料棒はシュラウドの中に収められる。通常運転時は、冷却水はシュラウド下部からシュラウドの中心(炉心部)に導かれ、上側に抜ける。冷却水の流路を形成するための隔壁の役割を有する。冷却水喪失事故時には炉心を冷却する水の水位を維持する機能を持つ