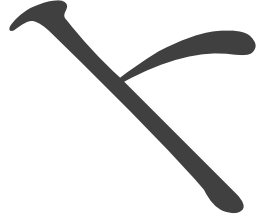


[ドラフト] PWR 環境下のステンレス鋼粒界割れ (大飯3号スプレイ事象) 技術課題整理の素案

大分類	小分類	技術課題 (現時点の課題認識)	対応の方向性 (現時点のアイデアを抽出;ただし, 必要性, 装置導入や技術課題有る項目も含む)
発生 実機 残材 調査	要因の 再調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実機サンプルについて、下記項目を調査した結果を踏まえて、硬化によって粒界割れが生じていたと推定されている。(12/24 会合,資料 1-1, 1-2) <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 外観 (酸化物、付着物)、寸法、PT、UT</li> <li>➢ 破面 (外観、SEM、付着物 EDS)</li> <li>➢ 断面マクロ、ミクロ、酸化被膜</li> <li>➢ 溶接部フェライト量</li> <li>➢ 硬さ</li> <li>➢ 化学成分、鋭敏化有無</li> <li>➢ 残留応力</li> </ul> </li> </ul>	<p>【目的】実機サンプルの残材は、NDC に保管中。残材を用いて、「硬さ」以外の要因有無を改めて詳細調査する。</p> <p>【対応案】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 局所、残留歪の測定 (EBSD 電子線後方散乱回折:放射性物質輸送ないし装置導入が必要)</li> <li>➢ 潜在亀裂の可能性有無調査</li> <li>➢ 溶接残留応力の評価 (測定・解析:微小領域の残留応力評価の技術進歩が必要)</li> <li>➢ TEMによる微細組織の観察 等</li> </ul>
発生 ラボ研究	硬さ (計測結果)  硬くなる要因 (機械加工)  硬くなる要因 (溶接)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 当該の粒界割れは、「硬さ」が原因で発生したものと考えられているが、その詳細メカニズムは解明されていない。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 実機サンプルの硬さ測定の結果、亀裂周辺部の内表面近傍 (~0.2mm) では強加工 SCC 発生知見のある 300HV (10g) を超える値が確認されている。(12/24 会合,資料 1-2,P1-19)</li> <li>➢ 亀裂周辺部の内表面からの距離が 1-2mm の範囲では、200~240HV (1kg) であり、SCC 進展の知見を超える値が確認されている。(12/24 会合,資料 1-2,P1-20)</li> <li>➢ 実機サンプルのうち、当該部と比較対象の硬さを比べると、当該部の方が硬いデータが得られている。(12/4 会合,資料 1-1,P2-4)</li> <li>➢ 当該部を再現したモックアップの硬さ計測の結果、300HV (10g) を超える値が確認されている。(2/12 会合,資料 1,P7,P8)</li> </ul> </li> <li>● シンニング加工により、一般に表層が硬化し、微細化層が形成される。(12/4 会合,資料 1-2) <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 当該配管の溶接熱影響部から離れた内表面近傍 (~0.1mm) では、微細化層が形成され、300HV (10g) を超える硬さが確認されている。</li> <li>➢ 亀裂周辺部では、表面の微細化層は認められていなかった。</li> </ul> </li> <li>● 当該部が硬くなった条件として、「過大な溶接入熱」が影響したと考えられている。(2/12 会合,資料 1) <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 当該部の溶接裏波部は、約 8mm 程度と幅が広く、慎重な初層溶接が行われたと考えられている。(12/24 会合,資料 1-1,P2-3)</li> <li>➢ 溶接部断面マクロ観察の結果、デントライトの成長方向が、当該部は配管周方向に成長しており、溶接速度が遅かったと考えられている。なお、比較対象の溶接部では、デントライトは配管軸方向に成長。(12/24 会合,資料 1-1,P2-4)</li> <li>➢ 入熱量を大きくすると硬さが増加する傾向が確認されている。(12/24 会合,資料 1-1,P2-5)</li> </ul> </li> <li>● 「過大な溶接入熱」の要因は以下と考えられている。(2/12 会合,資料 1,P3) <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 当該部のように、全層 Tig 溶接以外の場合、厚めの初層溶接を行うことから、初層の入熱量が大きくなる可能性がある。(1/29 会合,資料 1,P 参-19)</li> </ul> </li> </ul>	<p>【目的】(ラボ研究①)「硬くなった材料」は、一定以上の硬さで高応力が付与されれば、PWR1 次系環境下で粒界割れが発生することの条件を明らかにすべく、ラボ研究での再現を試みる。</p> <p>【対応案】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 硬さと応力条件で粒界割れが発生するか究明し、発生する場合には、硬さと応力に関する閾値を確認する取り組み手法を検討 (まずは発生試験の手法から検討が必要)。</li> </ul> <p>【目的】(ラボ研究②) なぜ「硬くなるのか」について、材料硬化を引き起こす要因を調査する。</p> <p>【対応案】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 溶接時の入熱影響 (モックアップ試験, 解析等)</li> <li>➢ 溶接時の形状影響 (モックアップ試験, 解析等)</li> <li>➢ 機械加工の影響 (モックアップ試験, 解析等)</li> <li>➢ 溶接による硬化機構の基礎検討 (EBSD による局所塑性の評価や FEM 解析等)</li> </ul> <p>【目的】(ラボ研究③)「硬化していると、なぜ粒界割れが発生するのか?」について、微細組織の観察等を行う</p> <p>【対応案】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 研究室レベルでの TEM による微細組織観察等から、硬化していると粒界割れが発生するメカニズムの解明を試みる。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 現地溶接を行う場合、上向き姿勢や狭隘部での溶接となる場合があり慎重な作業となるため、入熱量は大きくなる可能性がある。(2/12 会合,資料 1,P3)</li> <li>➢ 若手溶接士 (MHI では3年未満) は、丁寧かつ慎重な作業を行うため、入熱量が大きくなる可能性があり、当該部についても若手溶接士が溶接を実施していた。(12/24 会合,資料 1-1,P2-7)</li> <li>➢ 補修溶接 (あるいは、記録に残らない手直し溶接) を行う場合、追加で溶接することから入熱量が大きくなる。(2/12 会合,資料 1,P3)</li> </ul>	
硬くなる要因 (形状)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 当該部が硬くなった要因として、「管台とエルボ (肉厚の大きく異なる、変形領域が短い) 」の溶接部であったことから、溶接部の冷却時の落ち込み領域が狭いことが、硬さに影響したと考えられている。(2/12 会合,資料 1)</li> <li>➢ 当該部を再現したモックアップの硬さ計測の結果、300HV を超える値が確認されている。</li> </ul>		

亀裂あり健全性評価	進展速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PWR1 次系環境下のステンレス鋼の亀裂進展評価方法は、維持規格の事例規格化が行われていない。</li> <li>➢ BWR 環境下の亀裂進展評価式には硬さの概念が含まれていない。PWR は硬化した条件でのみ有意な進展が確認されるため、硬さが進展の重要因子であることが分かっている。</li> <li>➢ ニッケル基合金は亀裂進展速度が豊富に取得されているが、ステンレス鋼に対しては知見が限られており、知見は乏しい。</li> <li>➢ 当該部については、亀裂進展予測手法が規格化されていないことから、実機より詳細なデータを取得すべく、配管を交換することとされている。(10/19 会合,資料 1,P1)</li> </ul>	【目的】硬さパラメータを念頭に置いた進展速度の既存データを整理する。 【対応案】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 進展に関する国内現状知見を整理し、既存データで未公開のものを公知化。</li> <li>➢ 国内データに加えて、海外データも含めた亀裂進展データを整備。</li> </ul>
	残留応力		【目的】規格化を念頭に進展速度の追加データを取得する。 【対応案】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 充実が必要なデータについては、研究計画を具体化し、進展データを取得。</li> </ul>
	亀裂有り健全性評価手法		【目的】残留応力データの取得、解析による再現を行う。 【対応案】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 進展評価に用いる残留応力を整備。</li> <li>➢ 溶接方法、配管径、溶接部位などによる残留応力を把握 (モックアップ試験) 。</li> </ul>
			【目的】亀裂進展後の健全性評価手法を検討する。 【対応案】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 上記で整備された粒界割れの進展速度・応力を用い、亀裂進展評価や亀裂進展後の健全性に関する評価手法を検討。</li> </ul>

検査技術の検討	進展方向の判定	<ul style="list-style-type: none"> <li>● UT による亀裂性状の把握に課題がある。</li> <li>➢ ISI における外面からの超音波探傷試験 (UT) 結果である亀裂長さ 67mm、深さ 4.6mm は、破壊調査結果の長さ 60mm、深さ 4.4mm と概ね一致しており、亀裂はサイジングできていた。(12/4 会合,資料 1-2,P1)</li> <li>➢ 当初、外面 UT では、端部を含む亀裂の進展方向が溶接金属部をまたいでいると想定されていたが、破壊調査の結果、亀裂は溶接部近傍の母材部を進展していた。(12/4 会合,資料 1-2,P1)</li> </ul>	【目的】亀裂の進展方向の判定が異なった要因検証、対策を検討する。 【対応案】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 亀裂性状の乖離要因について要因候補を抽出、検証、対策検討の上で、再現試験により客観的評価を実施。</li> <li>➢ 論文または技術レポートによる検証結果の公知化。</li> <li>➢ 上記検証の取組みを通じ、溶接部の形状把握手段として有効な技術となり得るかの検討。</li> </ul>
---------	---------	---	---