

低炭素ステンレス鋼溶接境界部の SCC 進展挙動に及ぼす 応力方向とデンドライト成長方向の関係

背 景

国内 BWR の低炭素ステンレス鋼製の再循環系 (PLR) 配管で発生した SCC 損傷事例の調査結果から、PLR 配管母材内面の溶接部近傍の機械加工層から発生・進展した SCC が溶融境界近傍で停止もしくは、停留している可能性が示された。溶接金属の SCC は強い方向性を持つデンドライト粒界^{*1}を進むことが知られており、母材を進む SCC が溶融境界にぶつかる角度や応力の方向が進展挙動に影響を与える可能性が考えられる。しかし、溶融境界近傍における SCC 進展挙動を系統的な実験により調べた例はなく、基礎的な知見が不足している。

目 的

低炭素ステンレス鋼母材を進展する SCC が溶融境界にぶつかる角度が応力方向が溶融境界部における進展挙動に及ぼす影響を明らかにする。

主な成果

SMAW 溶接^{*2}および TIG 溶接^{*3}により製作した低炭素ステンレス鋼溶接継ぎ手の溶融境界部より、試験片を採取し、き裂進展試験を 288℃、溶存酸素濃度 8ppm の高温純水中で実施した。SCC 進展方向と溶融境界の角度を変えたため、SCC が進むと予想される荷重 (応力) 負荷方向に垂直な方向 (試験片の中立線方向) と溶融境界の角度 (θ) を変えて試験片を採取した (図 1)。得られた結果は以下の通りである。

1. 母材を進展する粒界型 (IG) SCC は、細かいき裂 (以下 2 次き裂と呼ぶ) の分岐を伴いながら進展し、溶融境界直前で溶接金属を避けるように向きを変え、溶融境界に沿って進展する傾向を示した。この傾向は、溶接方法によらず θ が小さい試験片でより明確であった (図 2)。
2. き裂が溶接金属内に大きく進展したのは、母材を進むき裂が溶融境界にほぼ垂直にぶつかった場合であり、デンドライト粒界を引き裂く方向の応力成分が最大となる $\theta=90^\circ$ のみで認められた (図 2(f))。
3. 溶融境界に達した 63 個の 2 次き裂について溶接金属内への進展量を調べた結果、進展量が 50 μm 未満のき裂が全体の約 80% を占め、150 μm 以上進展したき裂は、 $\theta=90^\circ$ で認められた 2 例のみであった (図 3)。

以上の結果から、溶接金属内へのき裂進展は、母材を進むき裂が溶融境界にほぼ垂直に到達し、かつ、デンドライト粒界を引き裂く方向に強い応力が働いている場合など、特定の条件が成立した場合にのみ生じる可能性高く、多くの場合、き裂が溶融境界近傍で停留もしくは大幅に減速している可能性が高いことを明らかにした。

今後の展開

SCC が溶接金属を避けて進展する傾向を示す機構を解明すると共に、実機溶接部の残留応力分布や SCC 発生位置などから、実機溶接部で溶接金属内にき裂が進展する可能性や条件を検討する。

主 担 当 者 材料科学研究所 原子力材料領域

PLM 総括研究プロジェクト SCC 研究ユニット 上席研究員 新井 拓

関連報告書 「低炭素ステンレス鋼溶接境界部の SCC 進展特性に及ぼす荷重負荷方向の影響」 電力中央研究所報告: (2009 年 3 月)

*1: デンドライトは溶接金属で特徴的な金属組織であり、溶融境界では境界に垂直な方向に柱状の結晶粒が細長く成長する。溶接金属の SCC はこの粒と粒の間 (粒界) を進む。

*2: 被覆アーク溶接 (Shield Metal Arc Weld)

*3: タングステンイナートガス (Tungsten Inert Gas) 溶接

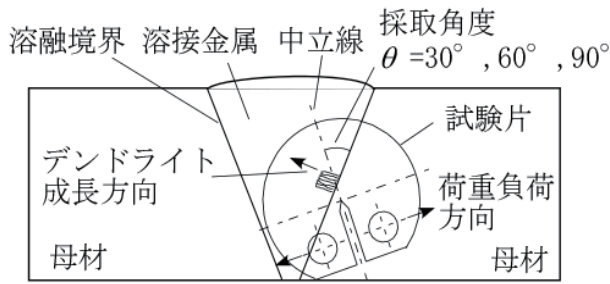


図1 試験片採取方法

予想されるき裂の進展方向(中立線の方法、すなわち荷重負荷方向と垂直な方向)とデンドライト成長方向(溶融境界にほぼ垂直)の関係がき裂進展挙動に与える影響を評価するため、角度を変えて試験片を採取した。

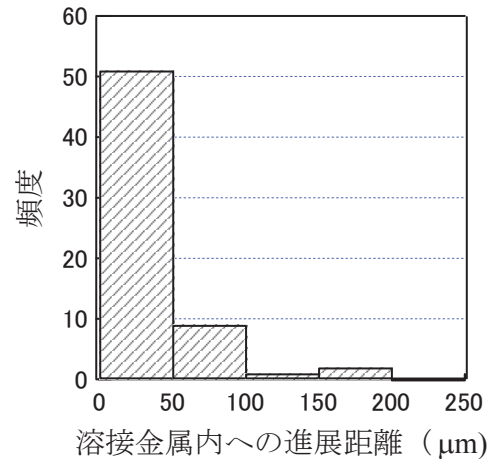


図3 溶融線に達したき裂の溶接金属内への進展距離の分布

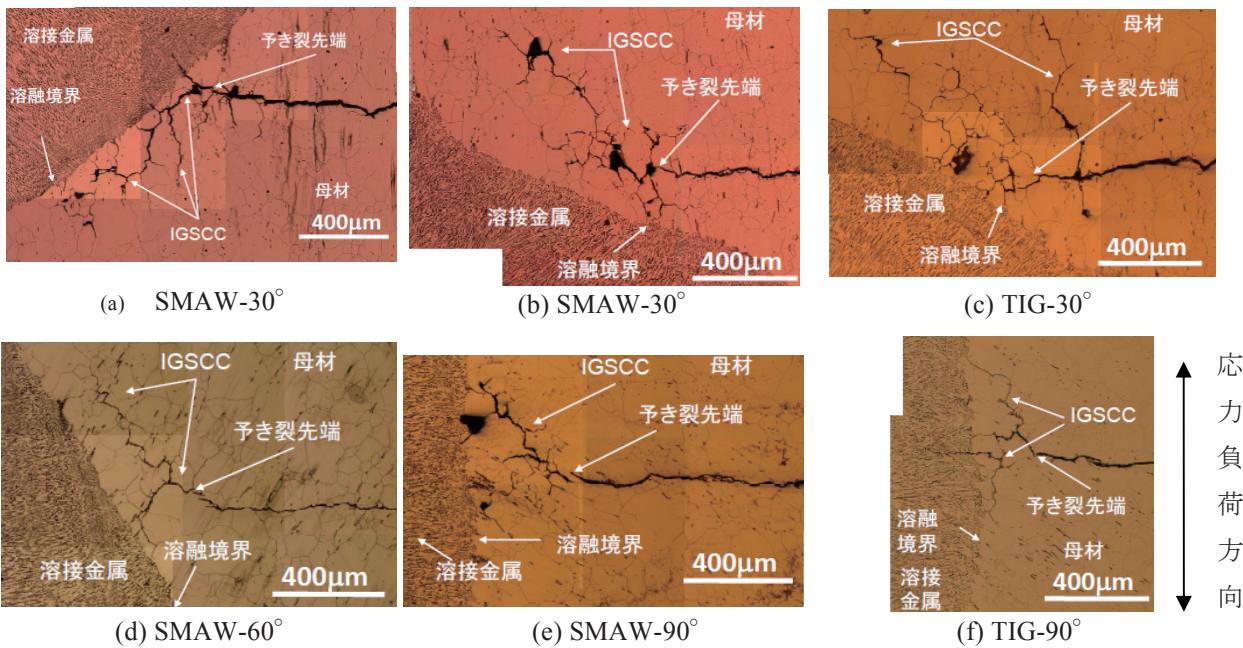


図2 溶接境界近傍における SCC 進展形態

母材を進展するIGSCCは、溶融境界近傍で溶接金属を避けるように向きを変え、溶融境界に沿って進展する傾向を示すこと、この傾向は、溶接方法によらず採取角度が小さい試験片でより強いことが判る(上図(a)~(f))。デンドライトの成長方向と試験片の中立線の方法がほぼ等しい $\theta = 90^\circ$ の試験片では、溶融境界にほぼ垂直にぶつかったき裂が溶接金属内に進展していることが判る(上図(f))。