

S-25 照射誘起応力腐食割れ (IASCC : Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking)

1. 概要

照射誘起応力腐食割れは、高温・高圧水中でステンレス鋼に観察される粒界型応力腐食割れである。特徴的なことは、粒界に沿った割れ経路が中性子照射により形成されることであり、IASCC の生ずる照射量のしきい値は $5 \times 10^{24} \sim 10^{25} \text{n/m}$ 程度とされている。中性子照射により粒界近傍では、Cr、Mo が欠乏する一方、Ni、Si の濃縮が起こり、割れ経路が形成されと考えられている。

2. 損傷を受ける材料

ステンレス鋼 (304 系、316L)

3. 損傷機構と損傷事例

軽水炉の炉内構造材料は、高レベルの中性子・ガンマ線の照射を受ける。中性子照射を受けると、金属材料は、格子原子のはじき出しにより、ミクロ組織や粒界近傍の局所的な化学組成の変化を生じる。その結果、照射誘起応力腐食割れ (IASCC) を生じることになる。

照射誘起応力腐食割れの事例としては、重大な問題へつながる損傷事例はいまだ発生していないが、沸騰水型原子炉、加圧型原子炉、いずれのタイプの原子炉においても発生している。一例としては、前者のタイプでは制御棒ブレードの割れ、後者のタイプではバッフルフォーマボルトの事例が報告されている。生じることになる。

金属材料が中性子照射を受けると、まず原子が格子位置からはじき出されて格子間原子と原子空孔が形成される (はじき出し損傷)。同時に、中性子と金属材料構成原子の核反応により H、He などの異種原子が材料中に生成する (核変換損傷)。はじき出し損傷による初期欠陥の形成は極めて短時間で生じる現象で、その後時間とともに欠陥の移動、消滅、集合が起こり、さらに合金のミクロ組織や局所的な化学組成の変化へとつながる。

ステンレス鋼が軽水炉運転中の温度域 (270~330℃) で中性子照射を受けると、照射硬化 (降伏応力の上昇と延性の低下) が生じ、照射誘起応力腐食割れ感受性を示すようになる。降伏応力が 500~700MPa 以上に上昇すると、照射誘起応力腐食割れ感受性を示すようになる。

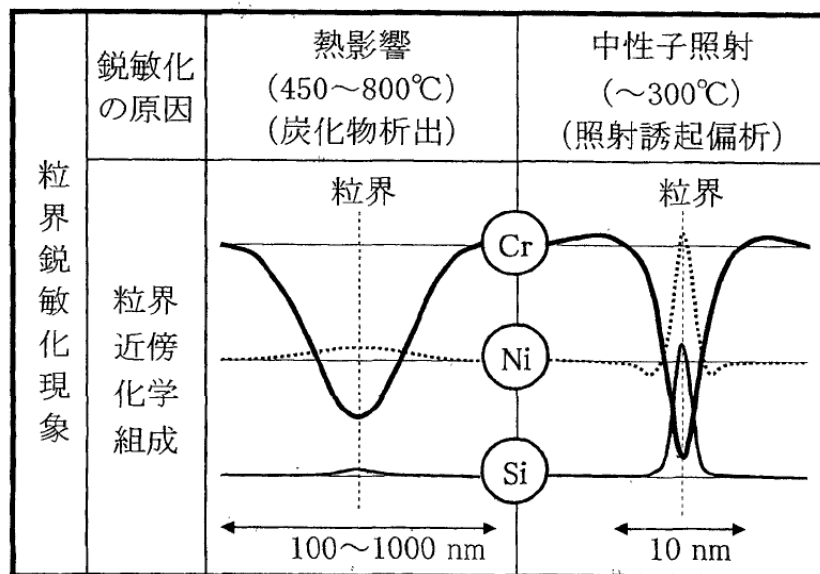


図1．照射誘起偏析による粒界近傍の元素分布と、熱影響による粒界近傍の元素分布の変化の相違¹⁾

照射誘起応力腐食割れに関しては、粒界の合金元素の局部的変化が深く関わっている。図1は、中性子照射したステンレス鋼に見られるCr,Ni,Siの粒界近傍の濃度プロファイルと、熱影響によるCr炭化物析出に起因する粒界近傍の合金元素の濃度プロファイルと比較した概念図である。熱影響の場合は、Cr炭化物の析出に起因するCr濃度の低下（鋭敏化）が主であるのに対し、照射誘起偏析の場合は、Cr欠乏以外にも他元素の粒界における富化（Ni,Si など）と欠乏（Mo など）が生じる。また、偏析の幅は、照射誘起偏析の場合は、鋭敏化よりもかなり狭い。

材料因子的には、照射硬化と照射偏析が照射誘起応力腐食割れの原因になっているとされている。

図2に、照射誘起応力腐食割れに及ぼす中性子照射量の影響を示した²⁾。照射誘起応力腐食割れ感受性を示すしきい値は、SUS304S、SUS316でそれぞれ照射量が $5 \times 10^{24} \text{n/m}^2$ （以下 $E > 1 \text{MeV}$ ）、 10^{25}n/m^2 であり、実機で、照射誘起応力腐食割れ感受性を示すようになるには、相当量の長い年月を経過して以降の現象である。例えば、溶接部を有する炉心シュラウドは、燃料領域最外周部より離れており、60年後における照射量は約 $3 \times 10^{25} \text{n/m}^2$ 程度である²⁾。

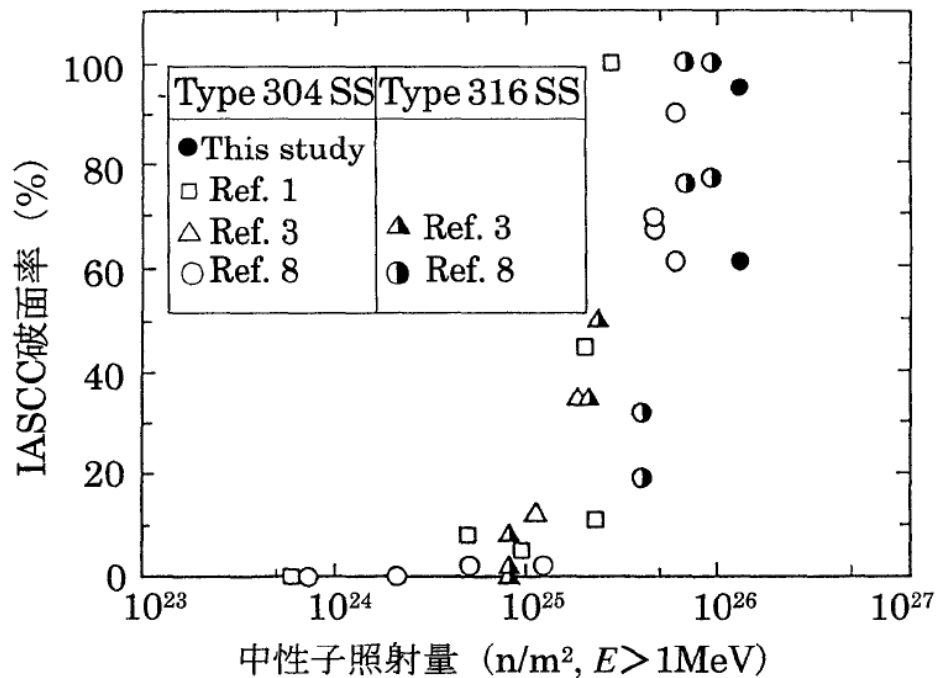


図 2．照射誘起応力腐食割れ感受性に及ぼす中性子照射量依存性²⁾。

照射誘起応力腐食割れを生じる環境因子としては、軽水炉環境である高温高圧水であるが、照射環境中では、水の放射性分解で、過酸化水素のように酸化性の強い化学種などが生成している。照射誘起応力腐食割れにはこれらの酸化性物質が影響している。

4. 対策

鋼種別には、SUS304 < SUS347 < SUS316 の順に耐照射誘起応力腐食割れが増大する。特に P を低減した SUS316L は高い耐照射誘起応力腐食割れ性を示す。

環境の水質因子としては、水素注入により溶存酸素濃度を低減することにより、照射誘起応力腐食割れ性は低減する。

照射誘起応力腐食割れは特に大きな応力が必要なことから、表面の引張り残留応力の緩和が有効となり、各種ピーニング技術により表面の残留応力を圧縮応力にする方法も効果的である。

5. 参考文献

- 1) 塚田隆：材料と環境、Vol.52、No.2、p66～(2003)

2) 鈴木俊一：材料と環境、Vol.48、No.12、p753～(1999)