

D-21 照射脆化

1. 概要

中性子の照射により、硬くなり降伏応力が上昇し、脆化する。その結果、延性－脆性遷移温度が上昇し、室温においても脆性破壊を起こすようになる。

2. 損傷を受ける材料

炭素鋼、低合金鋼、**Cr-Mo** 鋼、ステンレス鋼

3. 損傷機構、損傷事例

放射線で照射すると、その結晶中に格子欠陥が形成され、材料の物理特性が変化する。軽水炉、高速炉の炉内機器、特に燃料被覆管、核融合炉の第一壁等の金属材料では、多量の高速中性子の照射を受ける。中性子照射による機械的性質の変化は、原子のはじき出しと核変換の二つの現象に由来する。前者は、はじき出しで生じた格子欠陥が集合体を形成したり、材料の構成元素に作用し析出物の形成を促進することにより起こる。後者は、核変換で材料中に生じたヘリウムが高温で結晶粒界に気泡として析出する現象で知られており、ヘリウム脆化と呼ばれている。

軽水炉の場合、原子炉圧力容器（RPV）用低合金鋼、**Cr-Mo** 鋼等の体心立方を有する材料では、その融点の半分以下の照射温度で照射硬化と脆化が起こる。この場合、降伏強度および引張強さは増加する反面、伸びと衝撃値は低下し、脆化する。

図 1 に、鋼材が高温中性子照射を受けた場合の衝撃破壊試験（シャルピーVノッチ試験）結果の代表例を示す。縦軸は破壊に要した吸収エネルギーで横軸は試験温度である。照射されると、鋼材の脆性～延性遷移温度が上昇するとともに延性破壊領域における衝撃値は低下する。ここでは、遷移温度の基準として、衝撃吸収エネルギー値が 30ft-lb の場合を低エネルギーで破壊が生じる基準に採っている。

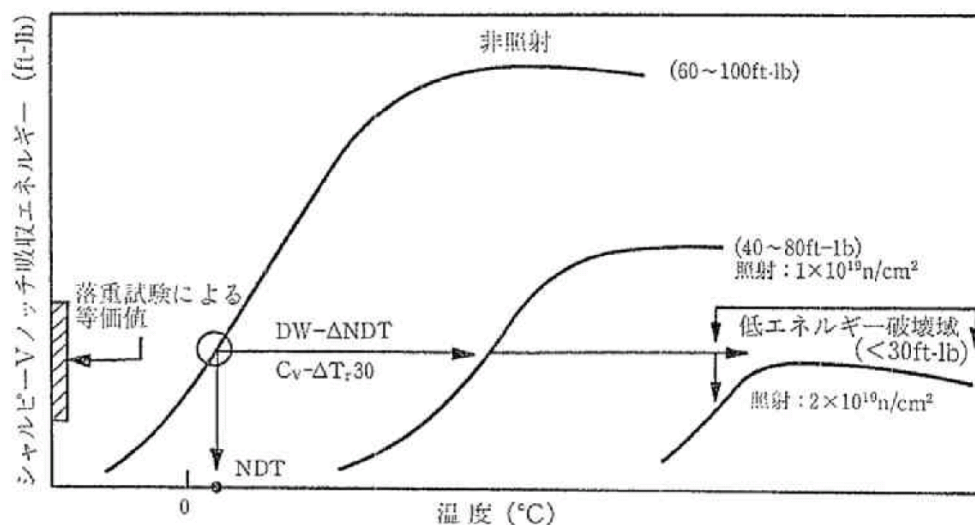


図1. A302B 鋼のシャルピーV ノッチ試験結果に及ぼす中性子照射の影響¹⁾

この照射脆化の影響は、照射温度が低いほど、また照射量が多いほど著しいが、また鋼中の残留不純物元素も、この脆化に大きな影響を及ぼす。図2は、その一例を示す。P、S、As、Sn、Sb、Cu 等の不純物元素を極力減少させた場合、高温照射では殆ど脆化しないことが示されている。この中でも Cu と Ni および P は特に重要である。最近の鋼材は、照射脆化に対する有害元素である Cu および P を極低レベルまで低減しており、照射脆化に対する抵抗はかなり高くなっている。しかし、現在、圧力容器に使用されている低合金鋼は、技術的あるいは経済的な面で中性子照射による遷移温度の上昇は避けられない。

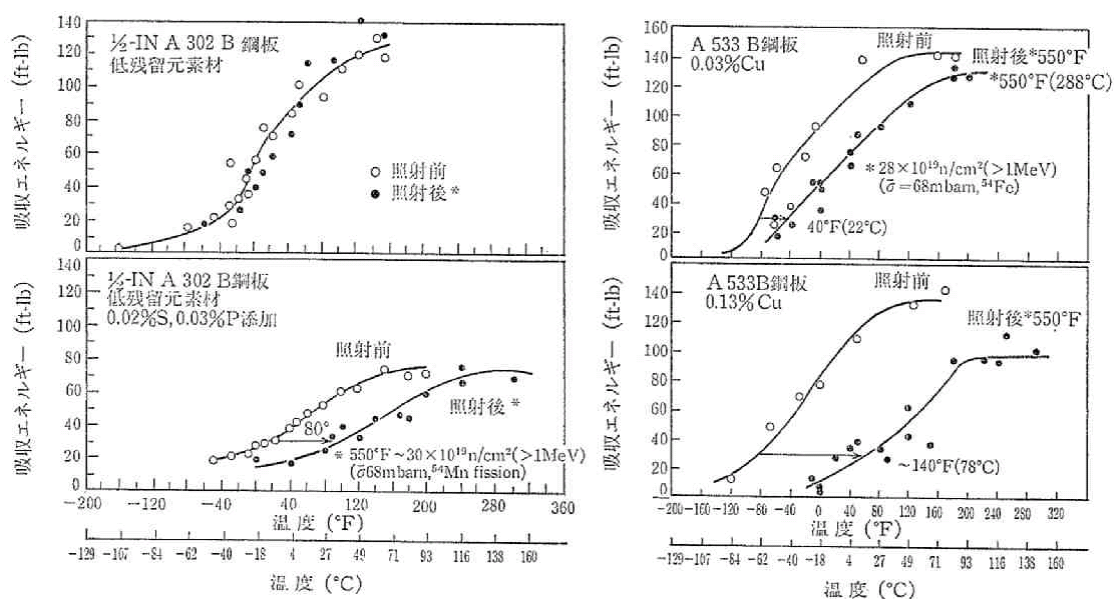


図2. 照射脆化感受性におよぼす残留元素の影響¹⁾

4. 対策

Cu および P 等の有害元素を極低レベルまで低減した、耐照射脆化性に優れた材料を使用する。

既設設備に関しては、化学組成に基づいた作られた脆化予測式を適用したり、監視試験（サーベイランス試験）を実施して、安全性を確保している。

5. 参考文献

- 1) 火力原子力発電「火力・原子力発電設備用材料 V.材料の特性と設計」