

## 水素ぜい化に及ぼすき裂先端の応力分布・水素分布・微細組織の影響

佐々木, 大輔

<https://hdl.handle.net/2324/1654873>

---

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 佐々木 大輔

論 文 名 : 水素ぜい化に及ぼすき裂先端の応力分布・水素分布・微細組織の影響

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

近年、エネルギー問題が地球規模の課題としてあげられ、代替エネルギーの一つとして水素エネルギーが注目されている。すでに日本では燃料電池自動車が市販され、水素社会構築に向けて使用材料の規格見直しが進められている。水素を利用する際には、製造段階、運搬段階、貯蔵段階、使用段階で構造部材として使用される種々の金属材料が水素に曝される。ところで古くから水素が金属材料の機械的特性に影響を与えることは報告されているので、水素環境下で使用可能な鋼材が定められている。しかし、今後水素利用社会のより迅速な構築に向けて安全性確保と経済性の点からは勿論、技術的観点（例えば、構造物の軽量化、部品の熱処理問題）などからも、他の材料の使用許可が望まれている。そこで、数値解析などを用いて多種多様な使用条件を反映した、水素環境下の材料の強度予測が望まれている。そこで、本論文では、使用材料の拡大と材料の使用基準の合理的な緩和に向けて、水素ぜい化に及ぼすき裂先端応力分布・水素分布・微細組織の影響を明らかにすることを目的とした。

第1章では、水素エネルギー社会の迅速な普及に向けた課題とこれまでの水素脆化に関する研究を簡単にまとめ、本論文の意義と目的を述べた。

第2章では、水素環境下における疲労寿命予測にむけて、弾塑性解析と水素拡散解析の有限要素法を用いた連成解析により、き裂材における水素による塑性域の局在化の再現を試みた。解析では水素による加工硬化係数の低下が塑性域に及ぼす効果と初期降伏応力の低下による効果を比較した。加えて、き裂先端の局所化された塑性変形領域の再現に向けて、新たな塑性域形状比較パラメータを提案した。これらにより、加工硬化係数の低下とき裂先端要素の塑性ひずみを塑性域比較パラメータ使用することが水素助長疲労き裂進展の遷移条件の推測において重要であることが示された。

第3章では、水素環境下の引張強度予測にむけて、引張強度のひずみ速度依存性を研究した。予き裂を有する Cr-Mo マルテンサイト鋼を用いて、高圧ガス環境下とヘリウムガス環境下において様々なひずみ速度で引張試験を行った。水素環境下ではひずみ速度を低下させていくと、 $2.0 \times 10^{-5}$

$s^{-1}$ において 600 MPa まで引張強度が低下した後、さらにひずみ速度を  $6.5 \times 10^{-8} s^{-1}$  まで低下させていくと 900 MPa まで回復した。この回復現象は、水素環境下において現在使用許可されていない鋼材でも、特定の条件下では使用できる可能性を示唆する。また、ひずみ速度低下による水素と転位の競合運動促進がき裂先端の応力緩和を引き起こし、引張強度が回復したことを明らかにした。

第4章では、水素環境下の引張強度予測にむけて、引張強度の支配因子を明らかにした。円周切欠きを有する焼戻マルテンサイト鋼を用いて水素ガス環境下で引張試験を行った。引張試験は下記の2種類の条件で行った。ひとつでは、試験前に48時間水素ガス環境下に暴露し引張試験を行い、もう一方の試験では、暴露せずに水素ガス環境下で引張試験を行った。その結果、引張強度は水素ガス環境下に暴露した条件において高い値を示した。走査型電子顕微鏡観察、元素分析、結晶方位解析、有限要素法解析を行うことにより、(1)Mn 偏析、(2)MnS、(3)縦割れ先端の応力集中、の3つの因子が水素環境下での引張破壊を促進することを明らかにした。

第5章では、これまでの研究を応用し、水素助長疲労破壊の抑制手法を調査した。微小ドリル穴を有する2種類のフェライト-パーライト鋼を用いて水素ガス環境下でひずみ制御疲労試験を行った。表面き裂観察・破面解析により高いパーライト分率を有する材料において、フェライト中の水素助長疲労き裂進展が抑制されていることが明らかになった。また有限要素解析によって、水素助長疲労き裂進展の抑制は、パーライトがき裂先端の塑性変形と水素局所化を抑制することにより、生じたことが明らかになった。また本研究により、試験周波数を低下させることによる水素局在化の緩和効果をパーライトが促進する可能性が示された。

第6章は 総括として各章で得られた結果を要約して述べた。