HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高強度低合金鋼の高圧水素ガス中における脆化挙動に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	荒島, 裕信
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15172号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87132
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hironobu_Arashima_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　荒島　裕信

審査担当者　主　査　教　授　橋本 直幸
副　査　教　授　三浦 誠司
副　査　教　授　林 重成
副　査　准教授　礒部 繁人

学位論文題名

高強度低合金鋼の高圧水素ガス中における脆化挙動に関する研究
(Study on embrittlement behavior of high-strength low-alloy steels in high-pressure hydrogen gas.)

鋼の高圧水素ガス環境脆性に関しては古くから数多くの研究が行われ様々な知見が得られているが、水素は鋼中を高速で拡散することから直接観察が難しく、水素脆性メカニズムには現在も未解決である。本研究では、室温高圧水素ガス中における低合金鋼の破壊に及ぼす水素の影響について微視的に解析し、破壊挙動メカニズムを解明することを目的とした。供試材は、一般的な構造用材料で、水素社会で使用される可能性の高い低合金鋼の一つである JIS G 4053SNCM439 を対象に、低ひずみ速度引張試験 (SSRT 試験) や低速度で荷重を負荷してき裂の進展開始を評価するライジングロード試験を高圧水素ガス環境下で行い、電子顕微鏡観察等を中心にき裂発生・進展挙動に及ぼす水素の影響について検討した。

第 2 章では、高圧水素ガス環境下で SSRT 試験を行うことで引張特性に及ぼす水素の影響を評価し、水素の影響は最大荷重を超えた局部収縮段階の大きな塑性変形が加わることで顕著に現れるが、1000 MPa class 以下の引張強さの試験片では水素中で降伏強さが低下し塑性変形開始時より水素の影響による軟化が表れ、大気中より低い応力で変形が開始したことを確認した。これは、転位運動により内部に水素が運ばれたことで水素が転位の弾性応力場と相互作用して転位の周辺に雰囲気を形成し, 転位芯近傍の弾性応力を遮蔽したことが要因と考えられた。水素中では水素と接触する外周部で発生したき裂が進展し、内部に向かって粒界型 (IG) 破面が大きく拡がるが、引張強さが小さい場合は多数の起点から擬へき開 (QC) 破面が内部へ向かって拡大する。この結果により、水素中のき裂進展抵抗の大きさの程度が引張特性における水素脆性の感受性を支配することが判明した。

第 3 章では、き裂発生における応力、ひずみの観点から水素脆性の影響について評価、検討した。水素中切欠き引張試験における荷重—変位曲線は大気中と同じだが、最大荷重点到達前に表面にき裂は認められず、最大荷重点到達後、き裂が発生・進展が認められた。引張強さが 1000 MPa を超えると水素の影響が急激に大きくなり、切欠引張強さの低下に伴い粒界破面の割合が増加することがわかった。また、水素中試験後の切欠底直下に凹凸やクラックの少ない塑性変形の影響を大きく受けた平坦な擬へき開破面が認められ、擬へき開破面の幅と切欠底に形成された塑性域の範囲がほぼ同等であったことから、き裂の発生は最大荷重点に到達した時点と判断した。き裂発生時の切欠底における局所的なひずみ値は切欠形状に依存せず、その値は平滑引張試験における最大荷重点での真ひずみに近いことから、水素性のき裂発生とボイド生成・合体が同時期に生じていると考えられる。更に、引張速度増大によりディンプル破面領域が見られたことから、転位の移動速度と水素の拡散速度が競合する条件が存在することが判明した。

第 4 章では、疲労き裂前縁における水素性のき裂発生および進展状態について、破壊力学的な手法を用いて水素中のき裂発生および進展に関して検討を行った。その結果、水素中の荷重—COD 曲線が大気中の線図から離れ始める荷重においては、予き裂前縁で既にき裂の進展が確認され、線図上でマクロ的に変化が認められる値より低い荷重において、水素の影響が認められた。き裂の発生する応力拡大係数 K_{IHi}4 値より更に低い値において部分的に予き裂前縁にき裂の発生し、き裂先端の応力の増加と共に拡大しているものと考えられた。水素中でのき裂進展開始点の K_{IHi} 値は、大気中の試験でストレッチゾーンが観察され始めた K 値と同等以下の値であり、大きな塑性すべり

が発生し転位の射出が増加する段階で予き裂前縁において急激にき裂発生が増加する。また水素中では、予き裂前縁に塑性鈍化の痕跡は認められない。鋼の破壊では、水素による転位の易動度向上や空孔生成が主要因と考えられていたが、本実験により、水素による原子の結合エネルギー低下など格子脆化などが複合的に影響し割れに至っている可能性が示された。
第 5 章では、4 実用材を用いて大気中および水素中の SSRT 特性を評価し、介在物を起点とした初期き裂発生機構を明らかにし、安全性に対する指標を明示した。
以上、低合金鋼における高圧水素ガス中の水素脆性について、機械的特性評価と破面観察を中心に評価した結果、水素による転位易動度の向上及びひずみの局所化が部分的割れを発生させ、更に大きな負荷が加わった時点でき裂が急激に増加し破壊に至ることを明らかにした。この研究結果は、高圧水素ガス利用中に起こり得る材料の水素脆性について、破壊形態の包括的な理解と破壊進展機構に関する新たな知見を与えるものであり、材料工学の発展に貢献するところ大なるものがある。
よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。