

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	サワー環境下における鉄鋼材料の水素誘起割れに及ぼす材料因子と環境因子の影響解明に関する研究
Title(English)	Study on the Effects of Material and Environmental Factors on Hydrogen-Induced Cracking of Steel Materials in Sour Environments
著者(和文)	藤城泰志
Author(English)	Taishi Fujishiro
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11765号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:多田 英司,小林 能直,河村 憲一,小林 覚,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11765号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文の要約

サワー環境下における鉄鋼材料の水素誘起割れに及ぼす
材料因子と環境因子の影響解明に関する研究

Study on the Effects of Material and Environmental Factors on
Hydrogen-Induced Cracking of Steel Materials in Sour Environments

東京工業大学

藤城 泰志

本論文は、「サワー環境下における鉄鋼材料の水素誘起割れに及ぼす材料因子と環境因子の影響解明に関する研究」と題し、全 5 章から構成される。

第 1 章 結論

第 1 章では、 H_2S を含む湿潤環境であるサワー環境において、鋼中に多量の水素が侵入することによって生じる水素誘起割れ（Hydrogen Induced Cracking, HIC）と呼ばれる水素脆化の特徴とともに、その発生・伝播挙動に対して、鋼中の介在物や硬さなどの材料因子や、 H_2S 分圧や pH などの環境因子の影響について既往の研究を概説し、HIC 機構の解明には、HIC き裂発生と伝播挙動に対して、材料因子と環境因子の影響に対して定量的な評価が必要であると指摘した。特に、HIC き裂発生部における割れ臨界水素濃度の定量化、HIC き裂伝播挙動と結晶方位との関係、サワー環境下における鋼中への水素侵入に影響する因子である pH および H_2S 分圧と HIC 感受性との関係を明確化することが重要であり、同時にこれらが耐サワー性を有する鉄鋼材料の開発にとって必須の課題になることを指摘した。最後に本論文の目的と構成を示した。

第 2 章 水素誘起割れ発生部における割れ臨界水素濃度 C_{th} の評価

第 2 章では，5mass% NaCl を含む pH 3 の酢酸緩衝溶液中， H_2S 分圧を 1 bar と 0.01 bar に調整したサワー環境下において，超音波探傷法と HIC 破面観察とを組み合わせた新規観察手法により，低合金鋼の HIC き裂発生時間と発生場所のその場測定を実施した．その結果，HIC き裂の発生は，鋼中の介在物である MnS で生じること，また HIC き裂発生までの誘導時間が延伸した MnS の長径の減少にともない増加することを明らかにした．さらに，電気化学的水素透過試験法により，サワー環境中から鋼中に侵入する水素の表面濃度を求め，それをもとにして有限要素法によって計算した鋼中の水素濃度分布から，長径が 260 μm の MnS 部を起点とする HIC き裂発生位置において，割れ臨界水素濃度が 0.38 ppm であると推定した．また，HIC は H_2S 分圧によらず材料因子によって決まる割れ臨界水素濃度に達した段階で生じると考察した．

第 3 章 水素誘起割れの伝播に及ぼす金属組織の影響

第 3 章では，サワー環境下における低合金鋼の HIC き裂伝播挙動に及ぼす金属組織の影響として，フェライト粒の結晶方位と HIC き裂伝播挙動との関係を調査した．そこで，フェライト粒の結晶方位を調整するために，低合金鋼をオーステナイト域で熱間圧延した後，フェライトとオーステナイトの二相域における制御圧延を行い，フェライトのへき開面である $\{100\}$ を圧延面に対して平行に発達させた圧延集合組織を有する試料を作製した．この試料を用いて，5mass% NaCl を含む pH 3 の酢酸緩衝溶液に対して 1 bar で H_2S を飽和させた溶液中において，HIC き裂伝播挙動を HIC 破面に投影した超音波反射像から求めたき裂長さの時間変化と，走査型電子顕微鏡観察および電子線後方散乱回折像によってき裂伝播経路を調査した．その結果，圧延集合組織を有する試料の HIC き裂伝播速度は，圧延集合組織を有しないも

のに比べ大きくなること，さらに，HIC き裂は主に {100} に沿って伝播するが，{100} が圧延面に対して平行でない無加工フェライト部では一時停留することを明らかにした．以上の結果から，HIC き裂の伝播はフェライトのへき開面で促進されることを示し，フェライトの結晶方位が HIC き裂の伝播挙動に影響を及ぼすと結論した．

第 4 章 サワー環境下における環境因子と水素誘起割れ感受性との相関

第 4 章では，サワー環境下における低合金鋼の水素侵入特性について，電気化学的水素透過試験によって種々の pH と H₂S 分圧において測定される水素透過電流と，鋼板厚さとの積で表される水素透過係数によって評価した．その結果，水素透過係数は，サワー環境への暴露初期では大きな値を示すが，鋼表面に FeS 皮膜が形成することにより徐々に減少して定常値に達することを指摘し，この水素透過係数の定常値に及ぼす環境因子の影響は，pH と比較して H₂S 分圧の方が大きいと述べた．一方，超音波探傷法によって求められる HIC による割れ面積率から評価した低合金鋼の HIC 感受性は，水素透過係数の定常値の大小と相関することを示した．以上の結果から，鉄鋼材料の HIC に対するサワー環境の過酷度が水素透過係数の定常値によって評価できると結論づけた．

第 5 章 結論

第 5 章では，本論文の第 1 章から第 4 章を総括した．すなわち，本論文は，サワー環境において鋼中に水素が侵入して生じる HIC き裂発生部の割れ臨界水素濃度を定量化する手法を確立し，フェライト中の HIC き裂伝播挙動に対する結晶方位の影響，ならびにサワー環境の過酷度と低合金鋼の HIC 感受性との相関を明らかにしたものである．本研究の成果は，今後，耐サワー性に優れる鉄鋼材料の設計指針となるといえる．