

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	藤城 泰志		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 多田 英司
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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「緒論」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の評価」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」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」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 H_2S 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 H_2S 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」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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	材料	系
Department of, Graduate major in	材料	コース
学生氏名：	藤城 泰志	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	多田 英司	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper is entitled "Study on the Effect of Material and Environmental Factors on Hydrogen-Induced Cracking of Steel Materials in Sour Environments" and consists of five chapters.

The first chapter, "Introduction," describes the characteristics of hydrogen induced cracking (HIC) and the purpose of this study. HIC, which is a type of hydrogen embrittlement, is caused by a large amount of hydrogen into steel under a sour environment containing H₂S. It is well known that HIC is affected by material factors such as inclusions and hardness in steel, and environmental factors such as H₂S partial pressure and pH. However, it has been hard to quantitatively evaluate the effects of these material and environmental factors on HIC. This is attributed to the fact that HIC is a crack that cannot be directly observed.

In Chapter 2, "Evaluation of Critical Hydrogen Concentration for HIC initiation," HIC initiation site and time were identified using an in-situ observation technique and the critical hydrogen concentration for HIC was calculated by a combination of hydrogen permeation technique and the finite element analysis. Elongated inclusions (MnS) were observed in all HIC initiation sites and HICs were occurred when hydrogen concentration reached 0.38 ppm, regardless of the H₂S partial pressure.

In Chapter 3, "Effect of microstructure on HIC propagation," the relationship between the crystal orientation of ferrite grains and HIC propagation behavior was investigated, using the in-situ HIC observation technique. The crystal orientation of ferrite grains were controlled by rolling texture. When the texture developed, ferrite was deformed and {100} plane parallel to the HIC propagation direction was enhanced. Then, HIC propagates faster on {100} plane of deformed ferrite grains but HIC was arrested near the non-deformed ferrite that has different crystal orientation from the deformed ferrite. This result suggest that the crystal orientations have HIC propagation resistance.

Chapter 4, "Relation between environmental factors in sour environment and HIC susceptibility," the effect of pH and H₂S partial pressure on hydrogen permeability in sour environments were evaluated and the relationship between hydrogen permeability and HIC susceptibility was investigated. Hydrogen permeability reached maximum values in the early stage and steady-state values in the later stage due to the formation of FeS film on the steel surface. The effect of environmental factors on the steady-state value of hydrogen permeability was larger for H₂S partial pressure than for pH, and the HIC susceptibility should be dominated by the severity map obtained from the steady-state hydrogen permeability.

Chapter 5, "Conclusion," summarizes Chapters 1 through 4 of this study.

In summary, this study has established a method to quantify the critical hydrogen concentration for HIC initiation, and has clarified the effect of crystal orientation on HIC propagation and the relations between the severity of the sour environment and the HIC susceptibility of low-alloy steels. These results of this study will used as a guideline for the application of steel materials to sour environments and for the design of steel materials with excellent sour resistance.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

