

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2009

課題番号：18360336

研究課題名 (和文)

最新分析技術を駆使した材料中の水素-転位ダイナミクス検出と脆化メカニズム解明

研究課題名 (英文) Dynamics detection between hydrogen and dislocations in materials and hydrogen degradation mechanism using advanced analysis

研究代表者

高井 健一 (TAKAI KENICHI)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：50317509

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：水素、水素脆化、転位、塑性変形、トラップサイト、純鉄、Inconel 625

1. 研究計画の概要

(1) 水素-転位ダイナミクスの検出：

近年進歩の著しい「最新の水素分析技術」と基本となる「力学試験」と組み合わせ、材料中の水素-転位の動的な挙動を検出することを目指す。具体的には、①変形中における材料内からの水素を高感度に検出する装置開発、②転位の水素トラップ効果と転位の移動に伴う水素dragging motion効果の影響を解明することを目的とする。

(2) 微視的な水素-転位の動的な相互作用と巨視的な力学特性との関係解明

材料個々の特殊性と普遍的な共通性を見出し、巨視的な力学的因子 (水素脆化試験) の結果との対応から、脆化へ及ぼす水素の役割・本質を抽出し、水素脆化メカニズムを見直すことを目的とする。

2. 研究の進捗状況

(1) 転位の水素トラップ効果と転位の移動に伴う水素dragging motion効果を検出

材料中の水素-転位ダイナミクスを検出するにあたり、BCC系金属として工業用純鉄、FCC系金属としてInconel 625を用いて、室温における転位による水素の輸送現象解明を目的とした。引張試験中に試験片から放出される水素を検出するために、低ひずみ速度引張試験機 (SSRT) に真空チャンバを取り付け、そこに質量分析器 (QMS) を組み込んだ装置を試作した。試験片表面の吸着水起因の水素、および応力を負荷しなくても拡散する水素を除去することで、変形過程における水素放出挙動を解析した。まず、 H_2O 起因の水素、およ

び無応力でも拡散放出する水素を除去することで、引張変形によって促進される放出水素のみ抽出することに成功した。純鉄および Inconel 625ともに、弾性変形過程では水素の放出は認められず、一方、塑性変形開始とともに急激に水素放出が開始し、その後徐々に水素の放出も低下する。塑性変形初期の急激な水素放出は、刃状転位による水素の輸送に起因し、その後の水素放出の低下は、転位密度の増加とともに平均転位移動速度が低下し、さらに結晶粒界などに転位がpile-upすることに起因すると推察される。また、従来、刃状転位が水素を輸送すると報告されていたが、本研究では変形後期でも水素の放出が検出された。この結果から、変形後期ではらせん転位が主となるため、静水圧応力場を持たないらせん転位も水素と相互作用し、転位の輸送に大きく貢献していることが判明した。さらに、ひずみ速度依存性についても検討し、ひずみ速度を遅くするほど転位による水素の輸送量も増加する。しかし、水素の拡散速度より遅くすると、逆に、水素の輸送量は減少する。以上、変形過程における水素-転位ダイナミクスの検出に成功した。

(2) 微視的な水素-転位の動的な相互作用と巨視的な力学特性との関係解明

上記 (1) において、塑性変形中に水素と転位の相互作用が起こることが判明した。そこで、巨視的な力学特性、すなわち水素脆化感受性と水素と転位の相互作用の関係解明を試みた。その結果、水素脆化感受性の高い純鉄や Inconel 625 は、水素と転位の相互作

用による格子欠陥形成が促進される。一方、水素脆化感受性の低い SUS316L は、水素と転位の相互作用による格子欠陥形成は促進されない。

以上の結果から、水素は塑性変形過程で運動する転位と相互作用し、転位の切り合いなどで格子欠陥形成促進を引き起こし、その結果として水素による延性低下を引き起こすことが示された。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

理由：

転位運動に伴う水素放出挙動を検出する装置開発から研究を開始し、各種金属材料内から変形中に放出される水素を高感度に検出することに成功した。また、これまで明らかになっていなかった、弾性/塑性変形過程における水素放出挙動も弾性および塑性内での繰り返し変形により、明瞭に区別できるようになった。さらに、水素と転位の相互作用後において金属材料内で起こる物理現象も明らかとなった。すなわち、水素とひずみの相互作用によって、格子欠陥形成が促進されることを見出した。

4. 今後の研究の推進方策

これまで順調に当初の目的を遂行できてきたので、今後は対象材料の幅を広げ、fcc 金属では純アルミニウム、SUS316L、bcc 金属では、高強度鋼、hcp 金属ではチタン等についても検討する計画である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 生田裕樹, 鈴木啓史, 高井健一, 萩原行人: “弾性・塑性変形過程における純鉄および Inconel 625 の水素放出挙動”, 鉄と鋼, vol. 95, pp.573-581 (2009). 【査読あり】
- ② K.Takai and H.Shoda: “Effect of Lattice Defects Induced by Hydrogen and Strain on Environmental Degradation”, TMS2008 Supplemental Proceedings, vol.3, pp.217-222 (2008). 【査読あり】
- ③ K.Takai: “Effect of Lattice Defects Induced by Hydrogen and Stress on Environmental Degradation”, Corrosion Control 007 Conference Proceedings CD-ROM, paper No.070, pp.1-7 (2007). 【査読あり】

[学会発表] (計 5 件)

- ① 種市直紀, 他: 電解チャージを施した純鉄の水素存在状態変化と力学特性との関係, (社) 日本鉄鋼協会、2009. 9. 15-17、京

都大学

- ② 宮下友徳, 他: 純鉄および伸線パーライト鋼の水素とひずみの相互作用により促進された格子欠陥の同定, (社) 日本鉄鋼協会、2009. 9. 15-17、京都大学
- ③ 高瀬翼, 他: 高強度低合金鋼の水素脆化感受性に及ぼす水素とひずみの相互作用の影響, (社) 日本鉄鋼協会、2009. 9. 15-17、京都大学
- ④ 伊藤博史, 他: 焼戻しマルテンサイト鋼の水素脆化感受性に及ぼす温度とひずみ速度の影響, (社) 日本鉄鋼協会、2009. 9. 15-17、京都大学
- ⑤ 高井健一: 金属材料中の水素存在状態と水素脆化, (社) 日本機械学会、2008. 11. 1-3、琉球大学