



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Hydrogen effect on dislocation motion in Fe and Ferritic alloys [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	王, 帥
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11124号
Issue Date	2013-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53848
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Wang_Shuai_review.pdf, 審査の要旨



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 王 帥

審査担当者 主 査 准教授 橋本 直幸
副 査 教 授 大貫 惣明
副 査 教 授 佐々木 一彰
副 査 准教授 三浦 誠司

学位論文題名

Hydrogen effect on dislocation motion in Fe and Ferritic alloys

(鉄およびフェライト鋼中の転位運動に及ぼす水素の影響)

本研究は、鉄系材料の水素脆化について、材料中の転位運動に及ぼす水素の影響という観点から、実験およびモデリング計算に基づき考察したものであり、本論文は7章で構成されている。第1章では、水素脆化に関する過去の研究について整理し、現在まで未解決な問題点、特に転位-水素間相互作用、水素と結晶粒界の関係、さらに引張強度や疲労に及ぼす水素の効果について指摘し、本研究の目的を明示している。第2章では、材料中に存在する水素が及ぼす物性変化や機械的特性変化の詳細を示し、それらに関する実験的解析手法(水素電解チャージ引張試験を用いた応力緩和試験による活性化体積:Activation Volume の評価)および理論的解析手法(密度汎関数:DFT および分子動力学:MD を用いたエネルギー評価)を提案している。これらをもとに、第3章から第6章において、(1)体心立方材料における水素による軟化、(2)水素脆化と破断との相関、(3)転位と水素の結合エネルギー、(4)転位の芯構造に及ぼす水素の影響について検討し、第7章で結論とさらに検討すべき課題について述べている。以下、それぞれの項目に対する詳細と審査内容を記述する。

(1) 体心立方材料における水素による軟化

転位運動に及ぼす水素の効果を精査するため、水素電解チャージ引張試験を用いた応力緩和試験を行った。この試験で、水素環境下では、鉄系材料における応力緩和が促進されること、鉄系材料の内部応力が減少すること、応力緩和試験による鉄系材料中の転位密度変化が極めて小さいことなどの知見を得た。これらの結果と透過型電子顕微鏡による微細組織観察と併せた解析により、転位は十分な水素濃度環境のもとで高い易動度を維持し、外部応力により転位の堆積が生じた場合には、堆積転位の先端で亀裂の発生を引き起こす可能性が高いことを示した。また、体心立方材料では水素環境下において転位の短距離相互作用とエネルギー障壁が支配的であり、転位のタングリング、ネットワークおよびセル構造を構築しやすいことを見出した。これらの結果より、鉄系材料中では局所的な水素濃度変化が転位の可動性に大きな影響を及ぼすことを明示した。

(2) 水素脆化と破断との相関

水素電解チャージ環境下では、鉄系材料における水素濃度は純鉄と比較して高く、活性化体積と内部応力は低カソード電流密度条件で減少するが、水素によって可動促進された転位は析出物の存在により移動を阻害される。一方、熱活性化自由エネルギーおよび無応力活性化体積の計算により、水素はすべり転位-障害物応力場間におけるエネルギー障壁を減少させることが判明し、これにより転位の堆積が生じ、外部応力下で亀裂の発生を引き起こすことを見出した。

(3) 転位と水素の結合エネルギー

本研究では、密度汎関数を用いて水素環境下における体心立方構造体中の電子構造および歪場を解析し、水素が四面体サイトに存在する場合、電子密度が増加することで転位の易動度が上昇することを見出した。また、格子間水素原子に対する2つの歪テンソルは相違し、水素は、刃状転位の場合と同様に、らせん転位とも弾性相互作用を有することが分かった。ただし、刃状転位の場合、水素は余原子面の下に存在するが、らせん転位の場合には、低相互作用エネルギーサイトがより多く存在するため、局所的に高水素濃度領域が存在する。部分転位が存在する面心立方構造体は、塑性変形においてジョグの形成が重要な役割を果たすが、体心立方構造体では一般的に難しいとされる。しかしながら、上述の理由により、塑性変形における水素とらせん転位の相互作用は局所的に可能であることを示唆した。

(4) 転位の芯構造に及ぼす水素の影響

密度汎関数を用いた解析により、体心立方構造体において、水素とらせん転位の相互作用による局所的塑性化の促進 (HELP: Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) が可能であることを示した。本研究の応力緩和試験より、この相互作用は短距離型であることから、転位芯構造は水素に影響されると考えられる。これについて原子挿入法を用いて転位芯の構造を調査した結果、水素存在下では芯のエネルギーとパイエルスポテンシャルが減少することで転位芯が分離することが判明し、らせん転位運動に及ぼす水素の影響は、この転位芯構造の変化に起因するものと推測された。

これを要するに、これらの研究結果は、水素環境下における鉄系体心立方構造体の変形挙動について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。