

京都大学	博士（工学）	氏名	岡田 和歩
論文題目	フェライト鋼およびマルテンサイト鋼における水素脆性破壊機構の変形微視組織に基づく検討		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、体心立方（Body Centered Cubic: BCC）結晶構造を有するフェライト鋼とマルテンサイト鋼の水素脆性破壊挙動と水素脆性に伴い形成される変形微視組織を比較・検討することで、水素存在下の塑性変形により形成される変形微視組織に基づいて BCC 鋼の水素脆性破壊の機構を議論した研究成果を取りまとめたものであり、全 6 章から成っている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を示している。現在の社会で強く要望されている鉄鋼材料の更なる高強度化を実現するためには、鋼で最も高い強度を示すマルテンサイト組織を活用する必要がある。しかしながらマルテンサイト鋼は、水素が侵入することで材料が脆くなる水素脆化現象を示し、これが超高強度化の大きな障害となっている。水素脆化の抑制のためには、その破壊機構の解明が必要である。これまでに様々な水素脆化破壊機構が提案されてきたが、水素に誘起される破壊の本質は未だ明らかになっていない。実用的に重要な低・中炭素鋼に現れるラスマルテンサイト組織は、ラス、ブロック、パケット、旧オーステナイト粒といった種々の寸法スケールの組織単位により構成されており、その水素脆性破壊においては粒界破壊と擬へき開破壊という 2 種類の破壊様式が主に確認されている。しかし、従来のマルテンサイト鋼の水素脆性機構に関する研究では、上述の破壊の起源がマルテンサイト鋼が示す複雑なラスマルテンサイト微視組織に由来するものなのか、あるいは BCC 結晶構造を有する鋼の本質なのかは明らかになっていなかった。そこで本研究では、マルテンサイト組織と同じ BCC 構造であり単純な組織を有するフェライト単相組織の水素脆性破壊挙動や水素脆性に伴い形成される変形微視組織を調べ、マルテンサイト鋼の水素脆性の場合と比較・検討することで、より一般的に BCC 鋼の水素脆性破壊の起源を明らかにすることを目的としている。</p> <p>第 2 章では、フェライト単相組織の水素脆性破壊挙動や破面の結晶学的特徴を詳細に調べ、フェライト鋼の水素脆性擬へき開破面が、BCC 結晶の主たるすべり面である $\{011\}$ 結晶面と平行であることを示している。この特徴がマルテンサイト鋼の場合と一致することから、BCC 鋼の水素脆性に伴い現れる擬へき開破壊は、ラスマルテンサイト微視組織に起因したものではなく、$\{011\}$ すべり面が本質的に重要な役割を果たすことを明らかにしている。さらに、水素がフェライト鋼の変形微視組織に及ぼす影響を詳細に調べ、水素存在下では (i) らせん転位の刃状転位に対する相対的な易動度が上昇すること、(ii) 転位組織が絡まり合った転位形態に発達すること、(iii) 変形後期（破壊が生じる直前のひずみ量）においてらせん転位密度が上昇することを明らかにした。これら変形微視組織観察結果に基づいて、らせん転位のジョグ引きずり運動によって導入された空孔・ナノボイドが $\{011\}$ すべり面近傍で連結・成長することによる水素脆性擬へき開破壊機構を提案している。</p> <p>第 3 章では、フェライト鋼とマルテンサイト鋼の水素脆性擬へき開破面の微視的な 3 次元構造や</p>			

京都大学

博士（工学）

氏名

岡田 和歩

結晶学的特徴を透過電子顕微鏡（Transmission Electron Microscope: TEM）観察などを駆使して詳細に調べ、水素脆性擬へき開破壊においては {011} すべり面（すなわち微視的な破面）に働く分解垂直応力が重要な役割を果たすことを見出している。これは、水素脆性擬へき開破壊が単純に水素によってすべり変形が助長されることで生じるすべり面分離のような現象ではなく、塑性変形によって導入された空孔の連結による破壊機構などを考える必要性を示唆しており、第 2 章で提案した機構を支持する結果であると結論している。

第 4 章では、マルテンサイト鋼の水素脆性を抑制する手法として、マルテンサイト変態の母相であるオーステナイト粒界における炭素の偏析を利用する手法を考案し検証している。旧オーステナイト粒界における偏析炭素濃度を増加させることで水素脆性粒界破壊を抑制し、マルテンサイト鋼の水素脆性特性を向上させることに成功した。さらに、クラック進展抵抗曲線を用いて破壊挙動の解析を行うことで、クラックの進展開始と進展のそれぞれの素過程における水素脆性特性の定量評価手法を確立している。水素の存在によってクラック進展開始抵抗とクラック進展抵抗の両方が著しく低下することや、水素脆性粒界破壊が完全な脆性破壊ではなくクラックの安定成長段階を含むことを見出している。また、旧オーステナイト粒界における偏析炭素濃度の増加によって、低水素量ではクラック進展開始抵抗とクラック進展抵抗の両方の低下が抑制されたが、高水素量では抑制されないという事実も見出している。

第 5 章では、引張試験中その場観察とデジタル画像相関法を組み合わせることで、ラスマルテンサイト微視組織に対応した局所応力・ひずみ分布の測定に成功し、変形中に旧オーステナイト粒界へ塑性ひずみと応力（特に引張応力）の両方が集中した結果、旧オーステナイト粒界へ水素が集積することを明らかにしている。この結果により、マルテンサイト鋼が種々の寸法スケールの微視組織単位（様々な境界を内包するラスマルテンサイト組織）によって構成されるにもかかわらず、水素脆性粒界破壊が主に旧オーステナイト粒界に沿って生じる原因の一つが解き明かされた。

第 6 章は総括であり、本研究で得られた結果を要約しまとめている。