

審査の結果の要旨

氏名 一谷 幸司

鉄鋼材料やアルミニウム合金等の構造材料は環境から侵入する水素により脆化するが、汎用の元素分析装置では材料中を拡散する水素を分析することはできないため、脆化に直接関与する水素の実体を捉えることは困難であった。しかし、試料表面に感光乳剤を予め塗布し、試料表面から放出される水素原子によって臭化銀粒子中の銀イオンを還元させれば、水素放出位置を銀粒子の存在位置で可視化することができると考えられる。本論文では、この水素マイクロプリント法（HMT）を改良して高感度 HMT を開発することにより、金属材料の水素脆化に直接関わる水素の挙動解明に応用した研究を行った。

第1章では、金属材料の水素脆化に関するこれまでの研究と各種水素分析方法および水素の可視化法についてまとめている。

第2章では、まず HMT による放出水素の定量的可視化を目的として、共析鋼を試料として HMT の水素検出効率について詳細な検討を行っている。定着処理後の銀の量を、同じ水素チャージ条件で行った電気化学的水素透過試験により定量した放出水素量と比較した結果、共析鋼を試料とした場合の水素検出効率は約 1%と低いことを明らかにしている。次に、電気化学的水素透過法において水素検出効率の向上に効果があることが知られているニッケルめっきに着目して、HMT の水素検出効率に及ぼすニッケルめっきの影響について調べ、ニッケルめっきが HMT の水素検出効率の大幅な向上に有効であることを明らかにしている。さらに試験条件に関する検討を行い、試料から水素が放出されて臭化銀と反応する際の試験環境の湿度が 80%RH 以上の場合に再現性良く、高感度が得られることを明らかにしている。このようにして、ニッケルめっきと試験湿度制御を組み合わせることにより、HMT の高感度化を可能とし、高感度 HMT を開発することに成功している。さらに、この高感度 HMT の水素検出効率を決定するために、種々の水素チャージ条件下で高感度 HMT を行い、定着処理後の銀の量と、電気化学的水素透過試験で定量した放出水素量の関係を調べ、高感度 HMT は従来法の水素検出効率のおよそ 40 倍に相当する約 40%の水素検出効率を有することを示している。これにより、水素脆化に関わる極微量の放出水素を定量的に可視化することが可能になったと述べている。

第3章では、高感度 HMT を応用して、極低炭素鋼、亜共析鋼、低合金焼戻しマルテンサイト鋼中の水素拡散パスの可視化を行っている。極低炭素鋼の場合には、銀粒子は粒界、粒内にほぼ均一に観察され、水素の拡散が試料全面でほぼ均一に生じていることを実験的に示している。亜共析鋼の場合には、定常拡散時の水素拡散パスが初析フェライトとパーライト中のフェライト相であることを明らかにしている。また、低合金焼戻しマルテンサイト鋼ではポケット境界とブロック境界と考えられる位置が水素拡散パスとなり得ることを示している。

第4章においては高感度 HMT を応用して、応力集中部近傍における水素分布を調べている。その結果、ノッチ底近傍において、その他の領域の 2~3 倍程度の量の銀粒子

が存在し、この領域に 2~3 倍以上の水素が濃化していたこと示している。高感度 HMT により明らかとなったノッチ近傍の水素分布が、静水圧応力分布と相当塑性ひずみ分布のいずれに対応するのかを調べる目的で、ノッチ付き引張試験片に所定の荷重を付加した際に生じる応力とひずみの分布を FEM による弾塑性変形解析により調べている。その結果、水素濃化域は相当塑性ひずみ集中域と対応しており、水素脆化での水素集積機構として、塑性変形で導入される転位による水素トラップがより支配的であることを裏付けたとしている。

第 5 章においては高感度 HMT をアルミニウム合金の水素脆化研究に適用するための基礎的検討として、昇温脱離試験と電気化学的水素透過試験を純アルミニウムを試料として行い、アルミニウム中の拡散性水素の評価を試みている。昇温脱離試験により、試料を高温恒湿環境で保持することにより試料に水素が導入されることを確かめている。また、アルミニウムを試料として電気化学的水素透過試験を行った結果、もともとアルミニウム中への水素固溶量が極めて少ないことに加えて、アルミニウム表面に存在する酸化皮膜の影響で、アルミニウムは鉄鋼材料ほど多くの水素を透過せず、高感度 HMT の適用が困難であることを示している。

第 6 章は総括である。

以上のように、本研究では従来法のおよそ 40 倍に相当する約 40%の水素検出効率を有する高感度 HMT を開発する事に成功し、これを水素脆化研究に応用して、水素拡散パス、水素集積位置を明らかにするなどの新しい知見を得ており、その成果は金属材料学に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。