

純ニッケルおよび銅：ニッケル二元合金の水素助長延性低下メカニズムに関する研究

和田，健太郎

<https://doi.org/10.15017/4060168>

出版情報：Kyushu University, 2019, 博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：

氏 名 : 和田 健太郎

論 文 名 : 純ニッケルおよび銅—ニッケル二元合金の水素助長延性低下
メカニズムに関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年加速する地球温暖化やエネルギー資源枯渇への懸念から、クリーンで持続可能なエネルギー源としての水素が注目されている。水素エネルギー社会を実現するためには、水素利用機器の安全確保と製造・運用コストの低減を両立する必要がある。そのためのアプローチの一つとして、水素環境下で使用される材料の高強度化が挙げられる。強度・耐水素脆化特性のバランスに優れた合金を合理的に設計するためには、水素脆化メカニズムにもとづく合金設計指針が必要不可欠である。これまでの研究により、オーステナイト系ステンレス鋼や鉄基超合金など一部の金属材料においては、水素脆化メカニズムにもとづく合金設計指針が確立されつつある一方、その他多くの金属材料においては水素脆化特性に影響を及ぼす因子に不明な点が多い。このような背景から、より幅広い金属材料において水素脆化の支配因子を解明し、水素の影響メカニズムにもとづく合金設計指針を構築することが求められている。そこで、本研究では、水素により顕著に延性低下するニッケルと、ほとんど水素の影響を受けない銅の合金である、銅—ニッケル二元合金の変形・破壊挙動に及ぼす水素の影響を評価した。さらに、材料の強化手法の一つである析出強化に注目し、銅とニッケルをベースに析出強化した材料であるモネル K-500 についても研究対象とした。これら金属の変形・破壊挙動に及ぼす水素の影響を網羅的に調査し、それぞれの合金組成において水素脆化を支配するメカニズムの解明を試みた。本論文は、以下の全7章から構成されている。

第1章では、わが国のエネルギー供給の状況と、将来のエネルギー供給における水素エネルギーの役割を確認し、水素エネルギー社会実現に向けた課題の一つである水素脆化について議論した。水素脆化の現象とこれまで提案されてきた水素脆化メカニズムについて概観し、本研究の目的を示した。

第2章では、本研究で使用したモデル合金である銅—ニッケル二元合金およびニッケル基析出強化合金について述べた。さらに、水素脆化メカニズムの議論において基礎的なデータとなる水素固溶度および水素拡散特性を、各材料について明らかにした。

第3章では、モデル金属のうち 100 Ni (純ニッケル)、55 Ni および 0 Ni (純銅) において、変形挙動に及ぼす水素の影響を調査した。走査型透過電子顕微鏡観察、ビッカース硬さ試験および引張試験により、水素による流動応力の上昇には転位組織発達の助長を伴う非可逆的な成分と、転位組織発達の助長を伴わない可逆的な成分とが存在することを解明した。それぞれの成分の割合を温度およびニッケル量を変化させながら調査することにより、銅—ニッケル二元合金の水素による硬化には2つのメカニズムが存在し、材料の組成および試験条件によって硬化を支配するメカニズムが変化することを明らかにした。

第4章では、100 Ni、55 Ni および 0 Ni の破壊挙動に及ぼす水素の影響を調査した。水素チャー

ジを施した材料を室温において引張破断させたところ、これら3つの材料はそれぞれ異なるマクロな破面形態を示す一方、ミクロな視点では100 Ni および 55 Ni は粒界に沿ったき裂生成という共通のプロセスにより水素助長破壊を起こすことが明らかとなった。さらに、水素助長破壊挙動の温度依存性について調査を行った結果、55 Ni が水素により延性低下するためには、変形途中に水素が結晶粒界へ向けて移動する必要があることが明らかとなった。

第5章では、100 Ni の水素助長粒界破壊を議論する上で重要となる、結晶粒界への水素の濃化挙動および濃化した水素が水素助長破壊へ及ぼす影響について調査した。二次イオン質量分析により水素濃度分布を可視化した結果、100 Ni において結晶粒界に沿って水素が濃化していることが明らかとなった。さらに、昇温脱離分析による結晶粒界における局所水素濃度の推定結果および引張試験結果から、結晶粒界に濃化した水素の水素助長破壊への関与を定量的に議論し、100 Ni における水素助長破壊は結晶粒界における局所的な水素濃度に支配されることを解明した。

第6章では、室温における銅－ニッケル二元合金の変形・破壊挙動に及ぼす水素の影響を、ニッケル／銅比率をより細かく変化させた材料に対して調査した。さらに、モネル K-500 に対しても同様の調査を行い、銅ニッケル合金の高強度化を図る上で必要不可欠な析出強化が水素脆化挙動に及ぼす影響の解明を試みた。その結果、いずれの金属においても水素助長粒界破壊を生じるために必要な限界応力が存在し、その応力はニッケル量の減少とともに大きくなることを明らかにした。この挙動は γ' が材料中に析出している場合にも同様であった。これらの実験結果をもとに、銅とニッケルをベースとした耐水素脆化特性に優れた高強度金属の開発にあたっては、結晶粒界の強度が十分に高く、かつその強度が水素により低下しないことが必要条件となることを提案した。

第7章では、本論文の総括を行った。