

Title	耐環境性実用Fe基及びNi基合金の第二相制御に関する研究
Author(s)	宮田, 佳織
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2672">https://hdl.handle.net/11094/2672</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	みやた かわの か おり 宮田 (河野) 佳 織
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 19646 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	耐環境性実用 Fe 基及び Ni 基合金の第二相制御に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 馬越 佑吉  (副査) 教授 白井 泰治 教授 掛下 知行

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高強度と耐環境性の要求される 3 種類の構造用実用鉄鋼材料が直面する材料課題を、第二相制御の問題として捉え、析出相の熱力学的安定性、析出・成長速度、塑性変形挙動の制御により、最適な強度と耐環境性のバランスを実現するための指針を得ることを目的とした。論文は 5 章から構成される。

第 1 章では、耐環境性鉄鋼材料の種類と従来の問題点について総括した。

第 2 章では、マイルド油井環境で使用される高強度低合金鋼の耐硫化物応力腐食割れを改善するための析出制御方法について述べた。具体的には、マルテンサイト組織から焼戻し過程で析出する MC 型炭化物とセメンタイトの元素分配、結晶構造、成長速度、等の詳細な観察と解析を実施した。その結果、MC 型炭化物は、V、Nb、Mo の転位芯拡散律速により形成される複合炭化物であり、一方、セメンタイトは Fe、Cr、Mo、Mn の格子拡散律速に従い成長することを見出し、それぞれの成長速度式を構築した。これらの炭化物の熱力学的安定性と成長予測によって、耐応力腐食割れ性と高強度を両立する鋼の材料設計が可能であることを実証した。

第 3 章では、火力発電プラント等で使用されるフェライト系耐熱鋼のクリープ強度を改善するための析出挙動の制御について述べた。W、Mo を含有する 2.25%Cr ベイナイト鋼と 12%系マルテンサイト鋼を対象とし、長時間クリープ試験中の炭化物の経時変化を解析して、クリープ強度に及ぼす析出相の寄与と、W、Mo による固溶強化の寄与について比較検証した。その結果、12%Cr 鋼では Laves 相の熱力学的安定性がクリープ強度の支配要因であったのに対し、2.25%Cr ベイナイト鋼では、マトリックス中に過飽和に固溶した W や Mo がクリープ抵抗の増大に寄与することが明らかとなり、平衡析出相である  $M_6C$  型炭化物の析出・成長を遅延させるような成分設計によりクリープ強度の向上が可能であることを実証した。

第 4 章では、高濃度の硫化水素を含む高温の油井環境で使用される Ni 基合金の水素脆化に及ぼす規則化の影響を取り上げた。具体的には、実用 Ni 基合金である C276 合金を対象とし規則化前後での水素脆化挙動を評価した結果、規則相の形成により塑性異方性が発現し、水素脆化による破壊形態が粒界破壊から双晶界面破壊に変化することを見出した。さらに、Ni-Cr モデル合金単結晶を用いて塑性変形挙動の観察・解析を実施した結果、侵入水素による積層欠陥エネルギーの低下、らせん転位の易動度の増加が確認された。さらに規則化の進行に伴い、侵入水素による塑性異方性が助長され、特定の方向への転位の易動度が増大することを明らかにした。耐水素脆化を保障するためには耐用年数を考慮した規則化進行速度の制御が必要であり、第三元素との合金化により解決できることを示した。

第 5 章では、本論文の総括を行い、第二相の特性に応じた材料設計の発展性について言及した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、高強度と耐環境性が要求される構造用実用鉄鋼材料の損傷・劣化を防止する手段として第二相制御に注目し、析出相の熱力学的安定性、析出・成長速度、塑性変形挙動の制御により、最適な強度と耐環境性のバランスを実現するための方策を調べている。得られた研究結果は以下の通りである。

(1) マイルド油井環境での高強度低合金鋼の硫化物応力腐食割れ防止のため、マルテンサイト組織の焼戻し過程で析出する MC 型炭化物とセメンタイトの元素分配、結晶構造、成長速度等の詳細な解析を行っている。その結果、MC 型炭化物は、V、Nb、Mo から構成される複合炭化物で母相との整合性は元素量、温度、時間の関数で記述可能である。その成長速度は転位芯拡散律速による 5 乗則に従う。一方、複合セメンタイトは 3 乗則に従うことを明らかにしている。この炭化物の成長予測により強度と耐食性を両立させる鋼の材料設計が可能であることを実証している。

(2) フェライト系耐熱鋼のクリープ強度改善を析出挙動の制御により達成している。12%Cr 鋼では、Laves 相の熱力学的安定性がクリープ強度の支配因子である。一方、2.25%Cr ベイナイト鋼では、母相中に過飽和に固溶した W や Mo がクリープ抵抗を増大させると共に、 $M_6C$  型炭化物の析出・成長の抑制がクリープ強度改善に有効であることを明らかにしている。

(3) 高耐食性 Ni 基実用合金 C276 は、規則相の形成により塑性異方性を発現し、水素脆化による破壊形態が粒界破壊から双晶界面破壊へと変化することを見出している。更に、Ni-Cr モデル合金単結晶の塑性変形挙動を調べ、侵入水素による積層欠陥エネルギーの低下、らせん転位の易動度の増加を明らかにしている。また、規則化の進行に伴い塑性異方性が助長されると共に、特定方向への転位の易動度が増大し水素脆化感受性が高まることを示している。耐水素脆化を保障するためには、耐用年数を考慮した規則化進行速度の制御が重要で、第三元素添加が効果的であることを見出している。

以上のように、本論文は構造用実用鉄鋼材料の応力腐食割れ、水素脆化の原因を明らかにすると共に、耐食性、クリープ強度などの特性改善のための材料設計指針を与えるなど、学術的にも実用的にも極めて重要な知見を多数含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。