



Title	特殊鋼の機械特性と析出物制御に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	寺本, 真也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13996号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78341
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shinya_Teramoto_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 寺本 真也

審査担当者 主 査 教 授 大沼 正人
 副 査 教 授 加美山 隆
 副 査 教 授 柴山 環樹
 副 査 教 授 中村 孝

学位論文題名

特殊鋼の機械特性と析出物制御に関する研究

(Study on Mechanical Properties and Precipitation Control of Special Steels)

本論文は特殊鋼の開発において必要な組織制御をより高精度で行うために、既存の評価法と比較して大領域の評価を量的に行える X 線小角散乱 (SAXS) 法を新たに加えることで、高精度の組織情報を取得し、その知見を組織制御・開発に還元することを目的としている。

本論文の研究背景には輸送機器の燃費向上と二酸化炭素の排出量低減という社会的に喫緊の課題が挙げられる。特殊鋼棒鋼および線材は自動車の基本性能を担うエンジン部品、動力伝達部品、足回り部品といった重要保安部品に使用されている。パワートレインの電動化や電動車 (HV (Hybrid Vehicle)、EV (Electric Vehicle) 等) においては、モーターやバッテリー等の重量物が増加するため、自動車機械部品の小型/軽量化による材料の高強度化ニーズがより一層高まっており、自動車機械部品の軽量化が不可欠である。

第 1 章ではこれを達成するために機械部品材料の高強度化、すなわち降伏強度または疲労強度の向上およびその原理を説明した。降伏強度、疲労強度のどちらにおいても、その向上には転位運動の抵抗を大きくする必要があり、その方法として固溶強化、転位強化、析出強化、結晶粒微細化の 4 つがあるが、その中で工業的に利用可能な自由度が高く、強化量も大きい手法は析出強化である。この析出強化による機械特性の変化を理解するためには、析出物の直径、平均粒子間距離、数密度等のパラメータを量的に評価する必要性が説明された。この中では析出物の解析技術として広く普及している電子顕微鏡法と比較して SAXS 法が持つメリットを説明している。SAXS 法では電子顕微鏡法に比べ、評価体積が大きく (透過電子顕微鏡と比較すると 100 万倍程度)、析出物の平均サイズや総量の評価における統計精度が高い。この点に着目して SAXS 法により鋼中に析出した鉄および合金炭化物の形態変化を高精度で定量評価することで機械特性との関連を精密解析し、機械構造用鋼における析出物制御に関する新たな指針を得るという目的を示した。

第 2 および 3 章では、小角散乱法を用いて鋼中の析出物を定量化するため、SAXS 法による各種鉄炭化物 (ϵ -Fe₃C、 θ -Fe₃C 等) の検出可否を母相と炭化物の散乱長密度の差から検討した上で、多量の Si を含有した中炭素鋼について、鉄炭化物の遷移過程 (焼戻しの第 3 段階) における降伏強度に及ぼす鉄炭化物の影響について適用した。その結果、焼き戻しにおいて降伏強度が顕著に低下する段階が ϵ -Fe₃C の溶解に起因していることを量的に実証した。これを元に遷移過程で降伏強度が顕著に低下する原因についても考察した。

第 4 章では、焼戻し温度で V 炭化物の分散状態を変化させた試料を作製し、疲労強度、降伏強

度におよぼす V 炭化物の影響について系統的に検討した。SAXS 法による組織解析で定量的に決定された過時効段階において、降伏強度が顕著に低下するのに対して、疲労強度はほとんど低下することなく維持されることを明らかにした。また SAXS 法、透過型電子顕微鏡を用いて V 炭化物の大きさや量の変化を詳細に把握することによって、過時効で疲労強度が維持される原因について新たなモデルを提案した。

第 5 章では、フェライト/パーライト組織中に V 炭化物を析出し、第 4 章に引き続いて疲労強度、降伏強度に及ぼす V 炭化物の影響について検討した。4 章の検討に加えて、この検討により V 炭化物の過時効で疲労強度が維持される現象はマトリクス組織に依存しないことを明らかにした。

第 6 章では、中炭素マルテンサイト鋼の焼戻し硬さに及ぼす Mo 炭化物の影響について検討した。この検討によって、Si、Cr、Mo を複合添加すると 400 から 500 度 C 焼戻しで大きな焼戻し軟化抵抗を示すことを明らかにした。また透過型電子顕微鏡、3 次元アトムプローブを併用し、theta 炭化物の大きさや分散状態と Mo 炭化物の析出有無を確認することによって、複合添加による大きな焼戻し軟化抵抗を示す原因を考察した。

以上の検討結果から、これまで経験的もしくは定性的な理解にとどまっていた焼き戻しに伴う Fe 炭化物の析出形態変化を活用した製品製造上のメリットおよび疲労強度における組織解析の結果、新たな組織制御指針が本研究により明示され、輸送機器の軽量化へつながる材料開発の新指針が得られた。

これを要するに、本研究により特殊鋼の機械特性と析出物制御に関して、鉄鋼産業ではこれまで利用されてこなかった X 線小角散乱法による定量解析を新たに加えることで、これまでは得られなかった新たな材料組織制御指針を取得したものであり、鉄鋼材料学に貢献するもの大である。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。