

炭素を含むマルテンサイト鋼における強化機構に関する研究

井戸原, 修

<https://hdl.handle.net/2324/7363763>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 井戸原 修

論文名 : 炭素を含むマルテンサイト鋼における強化機構に関する研究

区 分 : 甲

論文内容の要旨

近年の国際社会が取り組む SDGs(持続可能な開発目標 : Sustainable Development Goals)の高まりの中で、鉄鋼材料に対する高強度、高靱性、易加工性、高疲労強度などの要求はますます高まってきている。たとえば、地球温暖化問題の原因の一つである CO₂ 排出量を軽減させるため、自動車の軽量化による燃費改善や電動化が進められており、機械部品をより小型・軽量化するため、鉄鋼材料のさらなる高強度化が不可欠となっており、加えて疲労特性や靱性、耐遅れ破壊特性についても高い特性が求められている。鉄鋼材料の中でマルテンサイト鋼の強度は極めて高く、その強化機構に関する研究は古くから非常に多く行われてきた。しかし、未だに明確になっていない点が多く残されている。その理由としては、炭素を含むマルテンサイト鋼は複雑かつ微細な組織で構成されており、また強化機構同士が密接に関連するために各強化因子を分離して評価することが困難なためである。

炭素を含むマルテンサイトが非常に高い強度を持つ理由は、①炭素による固溶強化、②炭化物の析出による粒子分散強化、③高密度の転位による転位強化と④微細な下部組織による結晶粒微細化強化が全て備わっていることによるとされており、これまでは、それらの強化機構全てを加算して降伏応力を見積もるのが一般的であった。しかし、これまでの鉄鋼材料の強化機構に関する研究では、各強化機構の寄与が独立して表れやすい低強度域での検討であり、高強度域でも加算測が成立するかについては課題が残っている。このように、焼入マルテンサイト鋼における強化機構の詳細については未だに全てが解明されているとは言い難い。その理由として、1 つは炭素量が増加すると転位密度の上昇やブロックサイズの微細化等が同時に生じて硬さに寄与すると言われているが、現状ではそれらの影響が正しく分離評価されていないことが挙げられる。また、炭素含有量が少なく Ms 点が高い鋼種においては、焼入時の冷却過程に自己焼戻しによる硬さ低下が生じ、炭素が完全に固溶した本来の焼入マルテンサイトの硬さ(本研究では、「真の硬さ」と定義する)が分かっていないことが原因となっている。

このように焼入マルテンサイト鋼における強化機構を明らかにすることができれば、今後も求められる鉄鋼材料のさらなる高強度化の指針とすることができると考えられる。そのため本研究では、焼入マルテンサイト鋼における強化機構の影響をそれぞれ定量的に評価し、その関係性を明らかにすることを目的とした。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べた。

第 2 章では、マルテンサイトの引張変形挙動に対する転位密度や転位の性質を含めた基地組織の影響を明らかにするために、炭素を含まなくても容易にマルテンサイト組織が得られる Fe-18%Ni 合金を用いて、転位密度や転位の性質におよぼす結晶粒径の影響を明らかにした。また、摩擦力と転位強化との関係性を明らかにし、摩擦力と転位強化の機構を定量的に評価した。

第 3 章では、炭素の固溶強化量を定量的に見積もるためには、焼入マルテンサイトの真の硬さを明らかにする必要があることから、焼戻しによる硬さの変化を炭素の拡散面積で整理し、真の硬さを求める炭素量の関数を示した。合わせて、「焼入硬化率：Hs」により焼入マルテンサイト鋼の焼戻しの程度を示す指標を提案した。炭素の拡散面積と焼入硬化率の関係式を示し、鋼種に寄らず 400℃以下の低温焼戻しによる硬さ変化の予測を可能とし、焼入時の冷却曲線と炭素量から自己焼戻しの程度の正確な評価を可能にした。

第 4 章では、Fe-0.2%Si-2%Mn 合金を用いて、X 線回折法により転位密度を計測して転位強化量を見積もることを試みた。次いで、降伏強度から転位強化量を差し引くことにより摩擦力を求め、過飽和炭素による固溶強化の影響を定量的に評価した。とくに、炭素を含まないマルテンサイトについては、三次元格子モデルに基づいた転位強化解析を行い、実験的に見積もった値と比較した。さらに、加工した鉄についても同様な転位強化解析を行い、これまでに報告されている実験結果と比較することにより、転位強化解析手法の妥当性を検証した。炭素を含む焼入マルテンサイト鋼の降伏強度と転位密度の関係から炭素を含む焼入マルテンサイト鋼の転位強化量と固溶強化量を定量的に評価し、焼入マルテンサイトの強化機構について明らかにした。

最後に、第 5 章で各章の研究成果を総括した。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)

5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロットすること（手書きする場合は楷書体）。

この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。