

審査の結果の要旨

氏名 羅賢擇

自動車の排出 CO₂ の削減には車体の軽量化が有効である一方で、衝突安全性を確保する上では車体骨格の強化が不可欠となっている。この様な車体の軽量化と衝突安全性の両立には、使用鋼板の高強度化が最も有効な方法と考えられ、近年では 980MPa を超える高強度鋼板が開発・実用化されるに至っている。しかし、今後衝突安全性に関わる規制の厳格化がより一層進む中、更なる車体の軽量化による燃費の向上を進めるためには、引張強度 1.2GPa 以上かつ全伸びが 20%を超える超高強度かつ高延性な鋼材の開発が期待されている。そのため、高強度なマルテンサイト組織を主相として、軟質で延性に優れたフェライト組織やオーステナイト組織と複合組織化する Q&P 鋼などの開発が世界中で進められている。しかし、これらの複相鋼ではマルテンサイト組織は変形せず、延性はその周囲の局所的なひずみ集中に律速される。従って、最適な応力分配により主相のマルテンサイト組織も変形させることによる高延性化が期待されるが、マルテンサイト組織は低延性ゆえに変形挙動に関する知見が乏しく、最適な組織設計指針の構築には至っていない。

以上を背景として本研究では、走査型顕微鏡内でのその場局所変形解析により、まずマルテンサイト組織の局所的な変形挙動の特異性を明らかにし、次いで EBSP による結晶方位解析と結晶塑性理論を併用した解析、ならびに画像相関法を用いた解析を通して、変形のメカニズムの解明を行っている。本論文は以下の 5 章からなる。

第 1 章は緒言であり、鋼のマルテンサイト組織の変形に関するこれまでの研究を概観し、マルテンサイト組織の変形に関する従来の解析手法と課題、既往の知見を説明し、本研究の位置付けと目的を明確化している。特に本研究では、多くの実用鋼で見られるラスマルテンサイトに焦点を絞り、局所的な変形挙動をその場観察により明らかにすることを主な目的と位置付けている。

第 2 章では、観察対象のマルテンサイト鋼をオーステナイト鋼と複層化した試料を用いることで 30%までの一様変形をその場観察し、マルテンサイトの変形挙動の特徴を調査している。その結果、20%のひずみ負荷で既にマルテンサイト組織の微細化が進行することを明らかにした。さらにその様な低ひずみ域で生じる粒界の形成過程の詳細を調査することで、マルテンサイト組織では、変形中の結晶回転挙動はブロック内で

一様ではなく、ブロック内に複数の結晶回転による変形領域が出現することにより、その境界において新たな粒界が形成されることを明らかにした。また、この様なマルテンサイト組織の結晶粒微細化挙動は、固溶炭素量の増加に伴い加速することも明らかにしている。さらに、結晶塑性理論を用いた解析により、個々の変形領域では活動すべり系の選択はマルテンサイトラスの幾何学的異方性に拘束されることを明らかにしている。以上より、マルテンサイト組織においては、結晶粒同士の相互作用と同時に活動すべり系の異方的な選択が、極めて低いひずみ領域で観察される結晶粒微細化に寄与していると結論付けている。

第3章では、マルテンサイト組織に存在する様々な結晶学的境界と、局所的な変形挙動との関連を明らかにするため、画像相関法を用いた局所変形挙動解析を行っている。その結果、従来理論的な研究で指摘されていた旧オーステナイト粒界、パケット境界、ブロック境界などの大傾角粒界だけでなく、小傾角粒界であるサブブロック境界においてもひずみの局所化が顕著になることを示し、サブブロック境界がすべり変形挙動を決定づける重要な因子であることを明らかにした。また、ひずみの局所化が顕著となる領域で多数の粒界が新たに形成されることも明らかにしている。以上より、マルテンサイト組織の局所変形挙動にはサブブロック粒径が重要な因子となるとともに、固溶炭素の増加に伴い観測される結晶微細化の加速は、サブブロック粒径の減少によるものと結論付けている。

第4章では、マルテンサイト組織で観察される活動すべり系の異方的な選択挙動と、初期転位組織の関係を明らかにするため、焼入ままのマルテンサイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の局所変形挙動の比較を行っている。その結果、焼戻しマルテンサイト組織では、異方的なすべり系の選択は観測されず、結晶回転挙動はブロック内でより均一になり、結晶粒の微細化の進行が抑制されることを明らかにし、TEMによる転位組織の観察を踏まえ、焼入ままマルテンサイトの初期転位組織が異方的なすべり系の選択に影響を及ぼしていると結論付けている。

第5章は以上の総括である。

以上、本論文は次世代の高強度構造用鋼を開発する上で不可欠となるマルテンサイト組織の局所変形挙動の詳細を、走査型電子顕微鏡内でのその場観察により明らかにする共に、その特異性を支配するメカニズムを結晶塑性の観点から論じている。これらは本研究によって初めて解明された知見であり、材料工学分野に対する貢献は極めて大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。