

氏 名	しば た あきのぶ 柴 田 暁 伸
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2749 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 材 料 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	鉄合金レンズマルテンサイトの内部微視組織および結晶学に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 牧 正 志 教 授 落 合 庄 治 郎 教 授 松 原 英 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

鉄合金の α' マルテンサイト (bcc もしくは bct 構造) は、合金の組成や生成温度によって様々な形態を呈し、生成温度の低下に伴ってラス、バタフライ、レンズ、薄板状へと変化する。この形態の遷移は、鉄系マルテンサイトに残された重要な未解決問題の一つである。本論文は鉄系マルテンサイトの形態遷移の原因と機構およびそれを支配する因子を解明することを目的とし、形態や内部組織が最も複雑なレンズマルテンサイトに着目し、その結晶学的特徴 (内部微視組織、結晶方位関係、晶癖面、異相界面構造など) を主として電子顕微鏡法によって研究したもので、6 章より構成されている。

第 1 章は緒言であり、鉄合金マルテンサイトの形態および内部微視組織を支配する因子に関する従来の研究を総括している。またマルテンサイトの形態遷移の機構を解明するためには、形態や内部組織が最も複雑なレンズマルテンサイトの本性 (変態挙動、内部微視組織、結晶学、異相界面構造) を明らかにし、他の形態のマルテンサイトと比較することが必要であると指摘し、本研究の意義および目的について述べている。

第 2 章ではレンズマルテンサイトの中央部に存在する板状のミドリブと薄板状マルテンサイトの類似性に注目し、ミドリブの起源に関して研究している。Fe-31Ni-10CO-3Ti 合金 ($M_s=83\text{K}$) の薄板状マルテンサイトを M_s 点以上の種々の温度で応力誘起成長させたときのマルテンサイトの形態を詳細に調べた結果、 M_s 点近傍の低温で応力付加すると薄板状の形態を保ったまま成長するのに対し、約 150K 以上の高温で応力誘起成長させるとレンズ状に成長するという事を見出している。さらに、ミドリブと薄板状マルテンサイトは、形態 (薄板状)、内部微視組織 (完全双晶)、晶癖面 ($(3, 15, 10)_A$)、結晶方位関係 (G-T 関係) などが類似していることを実験的に示し、レンズマルテンサイトのミドリブは薄板状マルテンサイトそのものであり、その後の成長挙動の相違により、レンズマルテンサイトと薄板状マルテンサイトに変化すると結論している。

第 3 章では M_s 点の異なるレンズマルテンサイトと第 2 章で示した薄板状マルテンサイトを M_s 点以上で応力誘起成長させレンズ状に成長したマルテンサイトの内部微視組織と結晶学的特徴を詳細に調べている。レンズマルテンサイトの内部微視組織は、生成初期に形成されるミドリブでは完全双晶であるが、成長に伴って格子不変変形の様式が双晶変形がらすべり変形に変化し、部分双晶領域および非双晶領域 (転位領域) が形成される。非双晶領域は高密度の直線的ならせん転位により構成されているが、外周部 (母相との界面付近) ではらせん転位に加えて不規則に絡み合った高密度の転位が存在していることを明らかにし、このような絡み合った高密度の転位は、変態歪によってオーステナイト中に導入された転位がマルテンサイトに受け継がれたものであることを示した。このような内部微視組織の変化は変態潜熱によってマルテンサイト内の温度が局所的に上昇したことによると考察している。さらに一つのレンズマルテンサイト内で中央部のミドリブから外周部の界面に向かうにつれてマルテンサイトの結晶方位が連続的に変化し、オーステナイトとの結晶方位関係が Greninger-Troiano 関係から Kurdjumov-Sachs 関係に変化していくことを初めて明らかにし、この様な変化を内部微視組織の変化と関係付けて考察している。

第4章ではレンズマルテンサイト／母相間の界面構造について、マクロおよびミクロの両面から研究している。Fe-31～33Ni合金のレンズマルテンサイトの3次元的形態をセクションングと組織観察を繰り返すことにより調べ、Ms点が低いときには平滑な界面を持つ凸レンズ状であるが、Ms点が高温になるにつれて界面は不規則な凹凸状になり局所的に(252)_A面に近いファセット(晶癖面)を持つことを明らかにした。また高分解能電子顕微鏡観察を行い、レンズマルテンサイトの界面は巨視的(光学顕微鏡レベル)には湾曲していたり凹凸状を呈するが、いずれの場合も微視的(原子レベル)には母相とマルテンサイト相の平行最密面のステップ構造からなっていること、さらに、界面上に2種類のらせん転位が存在していることを明らかにしている。また、観察された界面転位から推測した格子不変変形をもとに現象論を用いて解析した結果、ひとつのレンズマルテンサイト内で観察された結晶方位関係や晶癖面の変化を矛盾なく説明することに成功している。

第5章ではマルテンサイトの形態および内部微視組織におよぼすMs点、変態時の体積変化($\Delta V/V$)およびマルテンサイトの正方晶性(c/a)の影響について、Fe-NiおよびFe-Ni-Co合金の浸炭処理材を用いて詳細に調べている。その結果、薄板状マルテンサイトの生成には高いc/aをもつことが必要条件であること、また $\Delta V/V$ の減少にともなってレンズマルテンサイトから薄板状マルテンサイトへ遷移する温度が大きく上昇することを明らかにし、これはc/aの増加および $\Delta V/V$ の減少によって双晶界面エネルギーが小さくなるため、格子不変変形として双晶変形が生じやすくなったことによると結論している。

第2章～5章の結果から、鉄合金のマルテンサイトの形態は、変態初期の格子不変変形の種類によって決まり、すべり変形ならラス(またはバタフライ)状になり、双晶変形なら薄板状(またはレンズ状)になること、薄板状マルテンサイトの成長時に格子不変変形が双晶変形からすべり変形に変化するとレンズマルテンサイトになること、を新たに提唱した。

第6章は総括であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

マルテンサイト変態は鉄合金に現れる重要な相変態のひとつであるが、変態機構などに関し不明な点が多く残されている。本論文は、未解決問題のひとつである鉄合金マルテンサイト(M)の形態の遷移(変態点の低下に伴う、ラス状→レンズ状→薄板状への変化)の原因と機構およびそれを支配する因子を解明することを目的とし、形態や内部組織が最も複雑なレンズMに着目し、その結晶学的特徴を電子顕微鏡法により研究した結果をまとめたもので、得られた成果は次のとおりである。

1. レンズMの中心部に存在するミドリブは変態の初期に生成した領域であり、その形態や結晶学的特徴が薄板状Mときわめて類似していることを実験的に示し、ミドリブは薄板状Mそのものであることを明らかにした。また、薄板状Mを種々の温度で応力誘起成長させてその形態を調べた結果、低温では薄板状を呈したまま成長するのに対し、高温ではレンズ状になることを見出し、両マルテンサイトの関連性を初めて明確に示した。

2. レンズMの内部微視組織が中央部のミドリブから界面に近づくにつれて完全双晶領域(ミドリブ)、部分双晶領域、非双晶領域(転位領域)へと変化する様相を詳細に観察し、格子不変変形の様式と種類を決定し、それが変化するメカニズムを提唱した。このMの成長時の格子不変変形の変化が薄板状M(ミドリブ)からレンズへと形態が変化する主因であることを明らかにし、これらに及ぼす変態時体積変化量やMの正方晶性の重要性を実験的に示した。

3. レンズMと母相との結晶方位関係が、ひとつのMプレート内で異なり、ミドリブ近傍から界面に近づくにつれてG-T関係からK-S関係に変化することを見出し、これらが内部微視組織の変化に起因していることを示した。

4. レンズMと母相オーステナイトの異相界面を高分解能電子顕微鏡により詳細に観察し、界面には変態ひずみを緩和する二組のglissile転位が存在することを明らかにするとともに、ラスMの界面構造と同じであることを確認した。

以上要するに、本論文は、電子顕微鏡法を駆使して鉄合金のレンズマルテンサイトの内部組織、結晶学的特徴、界面微細構造を明らかにし、それをもとに鉄系マルテンサイトの形態遷移に対する新しい機構を提案したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。