

Title	低炭素鋼における $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の組織と結晶学的解析
Author(s)	畑, 顕吾
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69574
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (畑 顕 吾)

論文題名

低炭素鋼における 変態の組織と結晶学的解析

論文内容の要旨

構造体としての鉄鋼材料には高強度化の要請がますます高まっており、マルテンサイトやベイナイトなどの硬質組織の活用が不可欠となっている。これらの硬質組織の形成には、高温のオーステナイト組織が決定的な影響を及ぼす。本研究は、オーステナイトの組織形成を理解するため、加熱過程におけるフェライト(α)からオーステナイト(γ)への相変態の組織の特徴を結晶学的観点から明らかにすることを目的とした。本論文は以下に示す5章から構成される。

第1章は序論であり、鉄鋼材料において高強度化の要請が高まり、マルテンサイトやベイナイトの有効活用が求められていることを述べるとともに、 α 相から γ 相への変態により形成される γ 相の組織は、その後に形成されるマルテンサイトやベイナイトの組織に決定的な影響を及ぼすことを示し、本研究の重要性について述べた。

第2章では、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の初期の状態を、高温 *in situ* EBSD法を用いた2次元測定によって直接的に観察し、 γ 粒と隣接 α 粒の結晶方位関係を解析した。 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の過程において γ 粒は α 粒の3重点において生成し、隣接する1つの母相 α 粒とKurdjumov-Sachsの関係(K-S関係: $(111)_\gamma // (1\bar{1}0)_\alpha$, $[\bar{1}10]_\gamma // [111]_\alpha$)を満たすだけでなく、他の α 粒とも、K-S関係に近い方位関係を満たすことを示した。また、昇温に伴う α/γ 界面の移動度と結晶方位関係の関連性を解析し、K-S関係およびK-Sに近い方位関係(方位差 9° 以内)を有する α/γ 界面の易動度は著しく低いことを示した。

第3章では、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態における γ の生成位置を明らかにするため、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の初期段階の3次元組織を再構築した。高温で3次元組織を直接測定することは困難なため、FIBシリアルセクションによる3次元結晶方位測定法と、マルテンサイトのバリエーション解析による旧 γ 方位の計算法を組み合わせ、 $\alpha \rightarrow \gamma$ の3次元組織を再構築する方法を確立した。再構築した3次元組織から、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態に際し γ 粒が α の粒界コーナー付近から生成することを明らかにした。さらに、 γ 粒と隣接する α 粒との結晶方位関係を解析し、1つの隣接 α 粒との間でK-S関係を満たすだけでなく、第2、第3の α 粒ともK-S関係に近い方位関係を満たし、第4の α 粒との方位関係はランダムであることを明らかにした。このことから、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態により生成した γ 粒と複数の隣接 α 粒の間の結晶方位関係として、K-S関係が優先的に選ばれていること、ならびに、少なくとも1つのランダムな方位関係の界面があることを明確にした。

第4章では、K-S関係を満たす界面の面方位を解析した。 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の初期の3次元組織から、K-S関係を満たす界面は、平面に近い形態を持つことが明らかとなり、TEMによる微視的な界面観察の結果とも合致した。本検討では界面方位を解析するため、3次元結晶方位測定のVoxelモデルに基づく界面方位の解析法を新たに開発した。K-S関係を満たす界面は $\{111\}_\gamma (// \{011\}_\alpha)$ の近傍の面方位を持つことが明らかとなった。この結果は、 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態において γ 相が $\{111\}_\gamma (// \{011\}_\alpha)$ 近傍の晶癖面を形成して生成することを示唆するものである。 $\{111\}_\gamma // \{011\}_\alpha$ 近傍の関係を満たす安定な界面の形成によって、上述の高温 *in situ* EBSD測定において、K-S関係を満たす界面の易動度が低下したと考えられる。

第5章では本研究を総括した。

以上の研究の結果、低炭素鋼の $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態における γ 相の生成と成長に及ぼす結晶学の影響について以下のことを明確にした。鋼の $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態で生成する γ 相は、複数の母相 α 粒との間にK-S関係またはそれに近い結晶方位関係を満たし、その界面は $\{111\}_\gamma (// \{011\}_\alpha)$ の近傍の面方位を有することを明らかにした。さらに、それら $\{111\}_\gamma // \{011\}_\alpha$ の近傍の界面によって、 γ 相成長の界面の移動が著しく抑制され、ランダムな方位関係の界面によって成長することを明らかにした。これらの結果は、鋼の拡散型変態に及ぼす結晶学の影響を明確にしたとともに、実用面でも、高強度鋼の開発に重要な γ 相の組織制御に基礎となる知見を示した点で大きな意味を持つ。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (畑 顕 吾)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	掛下 知行
	副 査	教授	荒木 秀樹
	副 査	教授	安田 弘行
	副 査	准教授	福田 隆
	副 査	特任教授	杉山 昌章 (共同研究講座)

論文審査の結果の要旨

本論文は鉄鋼材料の高強度化への社会的な要請が高まっていることを背景として、鋼の組織制御に重要な役割を果たす熱処理過程におけるオーステナイト相の組織制御に着眼し、その基礎となるフェライト(α)からオーステナイト(γ)への相変態現象を研究したものである。その中で、昇温過程で起こる相変態の組織とその結晶方位関係を、二次元・三次元、さらには動的に解析するための技術手法を開発している。それらを用いて、オーステナイト組織の形成メカニズムに及ぼす結晶学的関係の影響、低炭素鋼における拡散型の相変態機構、オーステナイト粒の成長機構を議論し、下記の成果を得ている。

- (1) 低炭素鋼である Fe-0.1C-1.0Mn (mass%)合金と Fe-0.2C 合金の $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態にともなう組織変化と結晶方位変化を調査する上で必要な高温 *in situ* 観察する技術を開発している (SEM-EBSD 法を活用)。その際に、真空中での表層からの元素脱離効果を考察し対策を施している。また、試料内部での変態挙動解析の必要性を提示し、FIB シリアルセクションング法を応用して、試料内部で生成したオーステナイト粒の三次元での結晶方位関係とその粒界面垂直方向を解析するための技術手法を確立している。特に高温でのオーステナイト粒の三次元的な結晶方位を、常温でのマルテンサイトバリエーションの一部情報から逆解析により求めるアルゴリズムを開発し、その妥当性を検証している。
- (2) 昇温過程における $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態を高温 *in situ* EBSD 測定により直接観察することで、オーステナイト粒はフェライト粒の 3 重点において生成することを明確にしている。そのオーステナイトの結晶方位は、隣接する 1 つの母相フェライト粒と K-S (Kurdjumov-Sachs) 関係を満たすだけでなく、その他の 1 つ以上のフェライト粒とも K-S 関係に近い方位関係を満たすことを明らかにしている。さらに、700°C以上の高温での昇温に伴うオーステナイト粒の成長過程の解析から、K-S 関係に近い方位関係を持つ粒界の移動は抑制されることを明らかにしている。
- (3) $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態の初期段階におけるオーステナイト粒とフェライト粒の結晶方位関係を三次元的に再構築することで、オーステナイト粒は隣接する 2 つまたは 3 つの母相フェライト粒と K-S 関係または K-S 関係に近い方位関係を満たすことを明確にするとともに、初期のオーステナイト粒の変態位置が粒界コーナーであることを結論づけている。さらに上記の K-S 関係に近い方位関係が満たされるとき、両者の粒界面は平面に近く、最密面同士の関係も $\{111\}_{\gamma} // \{011\}_{\alpha}$ に近くなることを明らかにしている。このような界面は整合性が高いため、オーステナイトの成長において、粒界の易動度が低下すると解釈している。また整合界面とは対照的に、高温で顕著な成長挙動を示すオーステナイトの粒界面は、両相からみてランダムな結晶方位であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は低炭素鋼の $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態におけるオーステナイトと母相フェライトとの方位関係、オーステナイトの初期生成サイト、オーステナイトと母相との界面形態とオーステナイトの成長との関係について新しい手法を用いて研究したものであり、学術的にも、鉄鋼材料をはじめとした材料の組織制御においても有用な知見を多く含んでおり、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。