

審査の結果の要旨

氏名 李 昶準

構造体の軽量化や環境性能向上のために更なる鉄鋼材料の高強度化が求められるが、高強度化とともに低下する靱性の確保、とりわけ熱影響によって母材の微細組織が崩れる溶接部での靱性確保が重要な課題である。この解決に向け、鋼中の介在物としての化合物を異質変態核とし旧オーステナイト (γ) 粒内に微細なフェライト (α) を多数生成させて最終組織を微細化し靱性を確保する技術が検討されてきた。この α を粒内フェライト (intra-granular ferrite, IGF) と呼ぶが、このIGFの生成は鋼の組成、鋼が受ける熱履歴、生成核となる化合物 (通常は酸化物や窒化物) に大きく影響されるため、それらの影響について多くの検討がなされている。これまでの検討から bcc- α と格子整合性の高い化合物が有効核として働くことが明らかであるが、格子整合性では説明できない有効核もあり、また化合物の組成、その周辺の鋼の組成の影響、介在物周辺に冷却過程で生じるひずみ場の影響などは γ からの複雑な相変態挙動などと相まって特定な鋼種・熱履歴下での理解に留まっており、より汎用的な解明が望まれている。また変態核として有効な化合物粒子を積極的に鋼中に分散する新たな鋼の可能性の検討も進められ組織微細化に対する有効性も確認されているが、その過程で従来にない γ - α 結晶方位関係も見出され、鋼の相変態に対する新たな展開に至っている。本研究はこのような背景の下で進められたもので、特にTi系の窒化物、酸化物といった化合物を異質核とした鋼の相変態について結晶学的な観点から詳細な検討を進めている。本論文は以下の6章から成る。

第1章は緒言であり、鋼の組織微細化と力学特性の関連や従来の組織微細化手法を述べるとともに、鋼中非金属化合物からの α の生成挙動に関する従来の研究成果を述べている。それに基づきこれまでTi化合物からの α 変態の機構や組織の結晶学的特徴について明らかになっていない点を抽出し、本研究の位置づけならびに目的を明確にしている。

第2章では α と格子整合性の良い Baker-Nutting (BN) 対応関係を持つ B1 型化合物である TiO と TiN を選択し、それらを鋼中に埋設して比較的低温で IGF 変態させた場合の化合物/ α 、 α /旧 γ の結晶方位関係を詳細に調べている。ベイナイト変態の温度域では IGF 生成には TiN より TiO が有効であり、その理由として TiO からは BN と方位差のある IGF の生成が可能であり、それゆえ α が旧 γ との方

位関係を同時に満たしながら非拡散変態によって成長しうるためであることを示している。この結果は第一原理計算によるbcc α とTi系のB1化合物の界面エネルギーの計算結果とも対応するもので、これまでの比較的低温でのTi系酸化物からの良好なIGF生成能を裏付けている。

第3章では、Ti系化合物を核に生成する α と旧 γ の方位関係の中で最近見出された特定な方位関係の生成起源についてTiNを用いて詳細に調べている。この方位関係は、変位型変態の γ - α 間の対応方位関係として一般に良く知られているKurdjumov-SacksやNishiyama-Wassermanの対応関係からそれぞれ 8° と 13° ずれた方位であることを確認し、 1400°C で γ 化した鋼中で多数生成するのに対し同じ鋼でも 1200°C で γ 化した鋼では生成しないことを見出している。前者ではTiNの近傍にTiの溶出を確認しており、この固溶Tiが新方位関係の鍵であると考察している。

第4章では、第3章で明らかになった新方位関係を持つ α の生成に影響を及ぼす化合物の種類、鋼の組成、保持温度などの影響を調査している。その結果、TiN、 Ti_2O_3 、 TiO_2 のいずれのTi化合物からも、周辺の固溶Tiの存在下で新方位関係を持つ α の生成を見出し、その α の生成頻度は、旧 γ と方位関係を持たない拡散変態のポリゴナル α より A_3 変態温度直下で高いことを明らかにしている。

第5章では、新方位関係を持つ α の生成モデルとして化合物周辺の積層欠陥や転位の固着点での核生成モデルを検討しその生成機構を議論している。固溶Tiの存在下で鋼の積層欠陥エネルギーは高まると考えられ、冷却中の化合物周辺の熱収縮のひずみ場形成と重畳して化合物近傍に生成する転位の固着点が α 核生成サイトとして有効であり、このサイトが新たな γ - α 結晶方位関係の起源であると考察している。

第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに本論文は、化合物を核とした鋼の相変態においてTi系化合物の役割を γ 化の温度、変態温度の観点から明らかにし、生成した α と旧 γ 、 α と化合物の結晶方位関係の解明を通してIGF生成の機構を明確にしている。これらの成果は、異質核生成による鋼の相変態の解明に寄与するとともに、溶接構造用鋼の更なる高強度化を可能にする材料設計・プロセス設計に繋がると考えられ、材料工学分野に対する貢献も大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。