

## 審査の結果の要旨

氏名 鈴木 崇久

鉄鋼材料の高強度化と靱性や延性の両立には組織の微細化が有効であり、これまで加工熱処理を中心とした組織微細化技術が開発され、さらに近年、それを発展させた大歪加工による組織の更なる微細化技術が検討されてきた。しかし組織の超微細化を実現する歪加工量を得るには、製品の形状や圧延能力上の制約が非常に大きい上、達成された微細組織は熱的に不安定であることから溶接構造物への適用に大きな課題がある。このような背景から、本研究では鋼中に微細酸化物粒子を導入し、それを核とした鋼の組織形成の機構を明らかにすることによって、大歪加工に頼らず熱的にも安定な、新たな鋼の組織の微細化技術の創出を検討した。酸化物を核とした鋼組織の形成は、これまで鑄造及び溶接の研究において多く検討され、一部実用化されてきたが、凝固や固相変態の促進に寄与する酸化物の因子や、酸化物分散により得られる組織の生成機構には依然不明な点が多く、また達成可能な組織微細化レベルについての研究例も無いため、この技術の潜在的な可能性については未だに明らかになっていない。

本論文では、この観点から凝固時と固相変態時の鉄鋼材料の組織形成について組織制御に寄与する酸化物因子の検討を行なうと共に、酸化物を高密度に分散させた場合に得られる鉄鋼組織の生成機構と酸化物分散条件による組織サイズ変化を検討することで、酸化物分散による更なる組織微細化のための指針を得ることを目的としている。

本学位請求論文は5章から成る。

第1章では序論として従来の鉄鋼材料組織微細化の研究について概説している。鋼の加工熱処理による組織微細化との比較から酸化物分散による組織微細化の特徴を確認し、凝固課程と固相変態課程における酸化物からの組織形成について従来の研究の経緯と未解明の点を明らかにした上で、本研究で解決すべき課題を明確にしている。

第2章では鋼の凝固課程における酸化物からの凝固核生成について、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及び $\text{MgO}$ の単結晶酸化物基板上で試料鋼の凝固過冷却を測定することで、酸化物の凝固核生成能を検討している。鋼の凝固過冷却を酸化物種・結晶面ごとに直接的に評価し、bcc鉄-酸化物間の格子整合性の向上とともに凝固核生成が向上することを確認している。また、試料鋼にTiを添加して $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及び $\text{MgO}$ の単結晶基板表面を、結晶構造を保持したまま改質した結果、界面のTi酸化物が凝固核生成能を著しく向上することを見出している。この理由について古典的核生成論に基づく界面エネルギーの検討から考察し、化学的に類似した $\text{V}_2\text{O}_3$ も高い凝固核生成能を有するとの実験結果と併せて、酸化物の化学的な性質が凝固核生成に大きく影響することを示している。さらに、これらの実験結果に基づき、Tiと $\text{Al}_2\text{O}_3$ を含んだ鋼の凝固組織が実際に等軸微細化することも示している。

第3章では鋼の固相変態過程における酸化物からのフェライト核生成について、酸化物

種がフェライト組織に及ぼす影響と得られる組織についての検討を行なっている。鋼中への酸化物分散手法として粉末冶金法を用いることで、酸化物分率の範囲を従来研究よりも一桁多い 1.0 vol.%まで検討している。酸化物粒子としては、従来研究でフェライト生成能が報告されている  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  と比較材としてフェライト生成能が低いと報告されている  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、さらに  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  が鋼中 Mn を吸収してフェライト生成に寄与するとされる  $\text{MnTiO}_3$  を用い、それらを分散した鋼に、溶接の粗粒熱影響部(CG-HAZ)に相当する熱履歴、ならびにその過程での任意の温度での等温保持を与えて、粗大オーステナイト組織からのフェライト生成を詳細に検討している。その結果、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  と  $\text{MnTiO}_3$  のフェライト生成能を確認するとともに、酸化物からのフェライト生成は、比較的高温ではポリゴナルフェライト、低温ではアシキュラーフェライトが主体であること、前者は旧オーステナイトに対してランダムな方位を持つのに対して後者は Kurdjumov-Sachs の方位関係を有することを明らかにした。さらに、2つのフェライトの中間温度域から Kurdjumov-Sachs 関係と双晶関係にあるフェライトが生成していることを新たに見出し、その結晶学的特徴を明らかにするとともに、その生成が Kurdjumov-Sachs 方位関係によって生じる変態歪を打ち消すものとの機構を初めて提案している。この結晶方位関係は従来研究では報告されておらず、本研究で酸化物粒子を高密度に分散したことで存在が顕在化し初めて見出されたといえる。

第4章では、鋼の固相変態過程において酸化物粒子の体積分率や個数密度などの分散条件が最終的な組織の微細化に及ぼす影響を検討している。前章と同じく粉末冶金法により酸化物粒子分散量を制御することで検討し、酸化物体積分率が 0.1vol.%のオーダーでは酸化物の増加とともに組織の微細化は進むが、1.0 vol.%のオーダーに達すると酸化物が増加しても組織微細化は進展せず、組織サイズが飽和する傾向があることを示している。この組織微細化の飽和の機構を、微細酸化物分散の界面エネルギー効果、フェライト変態の溶質分配効果、変態ひずみによる局所的な変態抑制の観点から考察し、変態駆動力を変化させた実験との比較から、変態歪の影響の可能性を示唆している。また酸化物分散により微細化された鋼組織のビッカース硬さを測定し、高密度の酸化物分散により微細化された組織も従来の加工熱処理による組織微細化と同様に強度が向上することを示している。

第5章は本論文全体の総括であり、また本論文で得られた成果を基に今後さらに検討すべき課題を示している。

以上のように、本論文は、酸化物粒子を分散した鋼の凝固、固相変態の組織形成を検討し、酸化物を核とした組織の形成挙動、それらの結晶学的な性質、組織の微細化と酸化物粒子の体積分率、個数密度の関係を明らかにしたものであり、組織微細化に必要な酸化物種類の選択とその分散条件についての知見を与えている。これらの知見は酸化物粒子分散による鋼の組織微細化を今後さらに進展させるための学術的な基礎知見を与えるものであり、鉄鋼材料の組織制御技術の発展に大きく寄与するものである。

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。