

氏 名	矢 澤 好 弘
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3932 号
学位授与の日付	平 成 19 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	析出物制御によるフェライト系ステンレス鋼の加工性向上に関する研究

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

本論文は、析出物制御によるフェライト (α) 系ステンレス鋼の加工性向上に関する研究についてまとめている。近年、Ni 原料価格の高騰に伴い、JIS 規格400番台で表記されるフェライト系ステンレス鋼の国内における需要量が全ステンレス冷延鋼板の50%を超え、各種産業分野で注目を浴びている。しかし、軟鋼と同じ結晶構造 (bcc, 体心立方晶) を有するフェライト系ステンレス鋼は SUS304 に代表されるオーステナイト (γ) 系ステンレス鋼に比べ延性が低く、設計の自由度が乏しいという欠点があった。そこで、フェライト系ステンレス鋼の適用範囲拡大 (設計の自由度向上) のために、さらなる加工性の向上が強く望まれていた。本研究ではフェライト系ステンレス鋼の加工性向上を目的とし、鋼中の種々の析出物の析出挙動に関し主に透過型電子顕微鏡により系統的な研究を行っている。そして、得られた研究成果を汎用フェライト系ステンレス鋼の材質制御に反映する検討を行い、 r 値 (ランクフォート値) が2.6に達する高加工性 (高 r 値) フェライト系ステンレス鋼板の開発、実用化に成功している。本論文はこれら研究結果をまとめたものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であり、フェライト系ステンレス鋼の用途と需要動向、要求される特性、加工性向上に関する過去の研究結果と残された技術課題をまとめ、本研究の目的を述べている。

第2章では、フェライト系ステンレス鋼の代表鋼である SUS430 (Fe-16mass%Cr-0.06mass%C) 鋼中に析出した Cr 系炭化物の形態と結晶学的特徴、遷移挙動について研究を行っている。得られたフェライト母相と Cr 系炭化物の結晶方位関係、遷移挙動の妥当性を原子の整合性計算、熱力学平衡計算結果を解析することにより説明している。さらに、炭化物の種類やその kinetics に関した研究のみならず、結晶学的特徴やその遷移挙動を詳細に観察し、体系的にまとめることがステンレス鋼の材質制御に重要であることを示している。

第3章では、オーステナイト相中に析出した VC (NaCl 型炭化物) の形態と結晶学的特徴、析出物の粗大化挙動に及ぼす圧延 - 再結晶の影響について調べている。Fe-Cr 合金は γ ループ型であり、例えば 16Cr 鋼では高温域で γ 相が安定なため、 γ 相中における析出物の特徴、圧延 - 再結晶の影響を解明することはフェライト系ステンレス鋼の材質制御について重要な情報を与えると言える。時効時間が長くなると VC の形態が $\{111\}$ で構成される八面体から $\{111\}$ と $\{100\}$ で構成される十四面体へと変化すること、析出後の母相の再結晶により整合性を失うと粗大化速度が著しく大きくなることを見出している。このような形態変化および粗大化速度の変化の理由を、原子の整合性、粒界拡散、Mn の分配の観点から明らかにするとともに、その実験結果に対し、理論的な説明を与えている。

第4章では、代表的な Ti 添加 IF (interstitial free) フェライト系ステンレス鋼である SUS430LX (Fe-16mass%Cr-Ti) 鋼に析出した Ti 系析出物とその析出挙動を調べ、それらの析出物制御が加工性に及ぼす影響について研究を行っている。フェライト単相鋼になりやすい高純度フェライト系ステンレス鋼の材質改善には、各成分系における析出物およびその析出挙動を詳細に把握し、あわせて析出物の形態や密度、分布と鋼板の特性の関係を明確化することが重要であることを示している。さらに、組織の微細化と析出物制御を考慮した製造技術の構築により、フェライト系ステンレス鋼のさらなる材質改善が期待できることを明らかにした。

第5章では、Ti添加フェライト系ステンレス鋼の高 r 値化（深絞り成形性改善）技術開発を目的とし、高加工性軟鋼とTi添加フェライト系ステンレス鋼（SUS436L, SUH409L）の比較研究から、析出物制御技術をフェライト系ステンレス鋼の高 r 値化に応用するための研究を行っている。軟鋼との比較研究から、Ti添加IFフェライト系ステンレス鋼は相変態が無いため、特に析出物制御が重要であるとともに、熱処理の自由度が高い利点を最大限に活用し各種析出物を制御することで、軟鋼を上回る強度- r 値バランスが達成できることを明らかにしている。あわせて析出物制御による固溶炭素低減、結晶粒微細化を考慮した凝固からはじまる一貫した製造プロセスの適性化により、さらなる加工性（高 r 値、高延性）向上が可能であることを明らかにしている。なお、フェライト系ステンレス鋼は高加工性軟鋼に比べ、冷延板における{111}集積量が低いにもかかわらず高 r 値である。体心立方構造を有するフェライト系ステンレス鋼は置換型原子であるCrを多く含有するため、すべり系が制限され高 r 値が得られた可能性があることを示している。

第6章では、第2章から第5章で得られた開発指針に基づき、成分および製造方法（精錬から casting, 熱延, 冷延）に至るまでの一貫した析出物制御に基づく{111}再結晶集合組織制御技術開発を行い、フェライト系ステンレス鋼の加工性向上プロセスを開発した。さらに開発技術を汎用鋼に適用し、 r 値を世界最高水準の2.6まで高めたSUS436L（Fe-18mass%Cr-1.5mass%Mo-Ti）鋼板の製造技術を確認し、実用化に成功した。開発した高 r 値フェライト系ステンレス鋼を自動車部材へ実用化する研究を行い、開発鋼の成形テストを行った結果、開発技術適用鋼は、既存技術で製造したフェライト系ステンレス鋼に比べプレス成形可能範囲が拡大し、成形の自由度が向上、適用範囲拡大に寄与することを明らかにした。

第7章は、総括であり、本論文で得られた研究成果および工業的成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、Ni原料価格の高騰に伴い、各種産業分野で注目を浴びているJIS規格400番台で表記されるフェライト系ステンレス鋼の加工性向上を目的とし、鋼の材質制御に重要な役割を果たす種々の析出物の形態、結晶学的特徴および析出挙動に関し主に透過型電子顕微鏡法により研究を行い、その研究成果を汎用フェライト系ステンレス鋼の材質制御に反映し、高加工性（高 r 値）フェライト系ステンレス鋼板の開発、実用化に成功した結果をまとめたもので、その概要は以下の通りである。

1. SUS430（16Cr）鋼中に析出したCr系炭化物の形態と結晶学的特徴、遷移挙動を明らかにした。さらにフェライト相とCr系炭化物の結晶方位関係、遷移挙動の妥当性を原子の整合性および熱力学的安定性の観点から説明した。
2. ステンレス鋼の材質制御に重要な役割を果たす、オーステナイト相中におけるNaCl型炭化物の代表としてVCを取り上げ、その形態と結晶学的特徴、析出物の粗大化挙動に及ぼす圧延-再結晶の影響を明らかにした。さらに、粗大化挙動を原子の整合性、粒界拡散、Mnの分配の観点から矛盾なく説明できることを示した。
3. Ti添加フェライト系ステンレス鋼中における析出物の同定およびその析出挙動を研究し、凝固からはじまる一貫した析出物制御を実際の製造プロセスに適用することで、さらなる加工性（高 r 値、高延性）向上が可能であることを示した。
4. 本研究結果から得られた開発指針に基づき、フェライト系ステンレス鋼の加工性向上プロセスを開発し、 r 値（ランクフォート値）を世界最高水準の2.6まで高めたSUS436L（18Cr-1.2Mo-Ti）鋼板の製造技術を確認し、実用化に成功した。本製造技術を適用した開発鋼を各種自動車部材の成形加工に適用し、フェライト系ステンレス鋼板の成形可能範囲（設計の自由度）拡大に寄与することを明らかにした。

以上、要するに本論文は、フェライト系ステンレス鋼を対象に、種々の析出物の析出挙動とその結晶学的特徴を実験および理論の両面から解明するとともに、その制御方法を明らかにし、加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼板の開発、実用化に成功したもので、学術上、実際に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18年12月26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。