九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

3%珪素鋼の一次再結晶粒成長抑制力に関する研究

髙宮，俊人

https://doi.org/10.15017/1654837

出版情報：九州大学，2015，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

論　文　要　旨

区　分	甲	氏　名	髙　宮　俊　人
論文題名　3%珪素鋼の一次再結晶粒成長抑制力に関する研究			

論　文　内　容　の　要　旨

方向性電磁鋼板の低鉄損化は，エネルギー問題解決の観点から，社会的ニーズの高い重要な研究課題である。この課題を材料組織学的に解決するには，最終製品において結晶粒の（１１０）［００１］方位（ゴス方位）への集積度を高めることが，もっとも有効な手法である。

方向性電磁鋼板では，結晶粒のゴス方位への集積のために，二次再結晶とも呼ばれる特定方位粒の異常粒成長現象が用いられる。この現象を有効に生じさせるためには，二次再結晶工程までに一次再結晶粒の集合組織制御およびインヒビターと呼ばれる析出物あるいは偏析元素による正常粒成長の抑制が必要である。

この異常粒成長を工業的に実現するために，５工程以上の焼鈍処理が施される。これらの焼鈍工程において，組織は一次再結晶と二次再結晶を生じるが，最終仕上焼鈍処理における二次再結晶時に，適切なインヒビターの選択によってゴス方位への集積度の増加が低鉄損化に重要となる。一次再結晶集合組織と二次再結晶組織形成ひいては磁気特性に関しては多くの研究報告があるが，その一方で，インヒビターの析出形態および粒界偏析が二次再結晶組織形成に及ぼす影響，さらに磁気特性に及ぼす影響に関しては低鉄損化に重要な課題にも関わらず，定量的な評価が困難なため,いまだに未解明な現象が多い。本論文ではこれらの現象の基礎的な解明および数値計算による解析を行うことを目的とした。本論文は、以下の６章から構成されている。

第１章では，まず，電磁鋼板に対する社会的ニーズについて述べ，ついで方向性電磁鋼板の鉄損改善手法および製造方法について述べた。さらに製造方法におけるインヒビターの重要性および従来のインヒビターに関する研究結果を示し，本研究の目的について論じた。

第２章では，ゴス方位を二次再結晶時に優先的に成長させるために，他の方位の正常粒成長を抑制する機能を有するインヒビターとして作用する析出物の熱間加工時の析出挙動の解明を目的とした。析出物として，MnSに着目し，MnS析出に及ぼすS量と熱間加工温度の影響を調べた。この結果を基に，溶解度積および加工を考慮した核生成速度の数値計算を行い，析出物生成挙動を定量的に評価した。

さらに，熱間圧延温度が，MnS析出粒径と一次再結晶粒径に及ぼす影響について研究した。その結果，粒成長抑制効果を大きくするために析出物を微細分散化には，析出物の元素量と熱間圧延温度の低温化が有効であることを新たに明らかにした。

第３章では，析出物の種類および析出形態によるピンニング効果の差を解明し，正常粒成長を効果的に抑制する手法を明らかにすることを目的とした。まず，実際の熱間圧延を模擬した実験条件下で，MnSeとAlNについて，熱間圧延直後の析出状態を詳細に調べた。また，熱間圧延温度がMnS析出挙動，MnSe析出挙動およびそれらのAlNとの複合析出挙動に及ぼす影響を調べた。さらに，インヒビター析出が一次再結晶粒径および等温焼鈍後の粒径に及ぼす影響について調べた。その結果，析出物は複合析出とした方が，その後の一次

再結晶粒の粒成長抑制効果が高くなることを明らかにした。

第４章では，MnS, MnSeの析出挙動の差を実験的な手法だけでなく，数値計算でも解析可能にするため，これら析出物の地鉄中における界面エネルギーを明らかにすることを目的とした。析出物と地鉄の方位関係をTEMの電子線回折像より明らかにし，得られた方位関係をもとに計算機シミュレーションによる第一原理計算から界面エネルギーを求めた。TEMによる観察の結果，MnSeと地鉄との方位関係は，極めて高い配向関係が得られた。一方，MnSはMnSeと比較して，地鉄との配向性が低い結果が得られた。それぞれの地鉄との界面エネルギーを第一原理計算で算出した結果，MnSeの界面エネルギーはMnSに比べ小さくなり，配向性の差が生じる原因であることが明らかとなった。以上の結果から，鋼中で微細な析出物を得るためにはMnSeの方がMnSより有効であることが示唆された。また，第一原理計算を用いることで，正常粒成長抑制効果の高いインヒビターが選択できることを示した。

第５章では，MnSe， AlNの析出物に加え，偏析元素であるSbをインヒビターとして用いた方向性電磁鋼板の最終仕上焼鈍において，焼鈍条件（ヒートパターン，焼鈍雰囲気）が二次再結晶挙動と磁気特性に及ぼす影響について調べ、仕上焼鈍工程の最適条件を明らかにした。

第６章では，本論文の成果を総括した。

本研究の実験成果および数値解析に基づき，インヒビターとして用いられる元素の最適量の決定，熱延工程の最適化，仕上焼鈍工程の最適化を行うことで二次再結晶時のゴス方位への集積度が高まり，その結果，方向性電磁鋼板の磁気特性が向上し，変圧器の損失低減による省エネルギー化が達成可能となる。