

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 本 間 穂 高

本論文は、方向性電磁鋼板の製造工程で発現する二次再結晶現象の発生機構とその原理の解明を目的としたものである。二次再結晶発現が、結晶組織の方位関係に依存する選択成長機構で生じるとの立場からモデル実験でこれを証明するとともに、結晶方位の選択性を定量的に評価し、低エネルギー粒界の移動優先説が妥当な理論であることを明らかにしている。また、圧延組織から一次再結晶、二次再結晶を通じて、集合組織が1つの結晶方位に先鋭化する機構も解明している。

本論文は、以上の研究成果をまとめたもので以下の8章からなる。

第1章では、方向性電磁鋼板の工業的意義と生産技術の概要を述べた後、これまでの二次再結晶発現機構に関する研究を総括している。その結果、異常粒成長の一つである二次再結晶が、核配向機構と選択成長機構のいずれによるのか長年に渡って証明されていないこと、近年有力な選択成長機構説も、選択機構が未解明であることを指摘し、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究の中で開発された方向性 6.5%Si 電磁鋼板の鉄損特性を、汎用の 3%Si 電磁鋼板および史上最高の透磁率を示す 6.5%Si-Fe 単結晶と比較している。その結果、直流鉄損が単結晶材より大きいことから、二次再結晶方位の先鋭化が、渦電流損を低減する磁区細分化技術とともに鉄損を低減する重要な制御技術であることを示している。

第3章では、まず選択成長説が正しいことの証明のために、円筒状試料内で二次再結晶を発現させ、成長粒と被蚕食組織の方位関係を結晶成長量に比例して分散させた実験を行っている。その結果、二次再結晶の進行が方位分散量 15° ~ 25° で停止すること、すなわち選択成長機構が正しいことを実験的に証明し、同時に、成長機構が粒界移動の外的因子である駆動力（粒界エネルギー）に支配されることを示している。次いで、ランダム方位核からの二次再結晶実験を行い、得られる成長方位が全て低エネルギー粒界（対応粒界）説の予測方位と一致すること、対応方位群中の Σ 数選択が易動度に依ること、特定 Σ 方位の中からの選択が核頻度によることを実証し、実材料で Goss 方位のみが二次再結晶する必然性を示している。

第4章では、対応粒界が一般に移動困難と考えられているため、典型的な低易動度粒界である小角粒界の二次再結晶阻害性を解析している。その結果、小角粒界は、他の粒界との相互作用が弱く二次再結晶を阻害しないこと、粒界移動の駆動力は May と Turnbull の予測通り一般粒界と同等であることを実験的に明らかにし、対応粒界も移動し得ることを示している。

第5章では、工業材料における二次再結晶核の実態を解析し、汎用方向性電磁鋼板では、核形成から二次再結晶完了までほぼ一貫して $\Sigma 5$ 選択が進行するのに対し、Goss 方位の集積度がより高い高性能方向性電磁鋼板では、核発生時に $\Sigma 7$ 、二次再結晶進展に $\Sigma 9$ 選択がなされており、それらの僅かな共有方位が Goss 方位であることから、Goss 方位が高度に集積して得られる理由を明らかにしている。

第6章では、二次再結晶を促進する $\Sigma 9$ 方位粒が一次再結晶により生じる機構を検討している。電子後方散乱像解析装置を取り付けた FE-SEM を用いて強圧延材の加工組織を解析し、その結果、下部組織が $\{211\}$ 面 $\bar{1}$ りで形成されること、Schmid 因子に依存して低歪組織では等価バリエーションの無い $\{211\}$ 面が選ばれ、高歪組織では2つの等価バリエーションがある $\{211\}$ 面が選ばれること、 $\Sigma 9$ 方位粒である $\{111\}\langle 112 \rangle$ がこの高歪組織から再結晶することを明らかにしている。

第7章では引き続き、もう一つの $\Sigma 9$ 方位粒である $\{411\}\langle 148 \rangle$ が一次再結晶により生じる機構を検討している。その結果、低歪組織の再結晶機構について方位解析し、再結晶サイトが粒界であり、粒界近傍に導入される不規則な歪と僅かな残留歪が、強く相互作用する幾何学的関係にあると再結晶を誘発することを実証している。さらに、低歪組織において $\{211\}$ 面上で複数の $\bar{1}$ りが再結晶過程で複合して $\langle 111 \rangle$ 軸回りの回転を生じることによって、 $\{411\}\langle 148 \rangle$ が得られるというモデルを提唱している。

第8章は、本論文の総括である。

以上を要約すると、本論文は方向性電磁鋼板の製造工程で発現する二次再結晶現象に関して、長年議論に決着がつかなかった Goss 方位の発現機構について、低エネルギー粒界説が正しいことを実証するとともに、圧延組織から Goss 方位に集中した二次再結晶が得られる過程の機構を解明したものであり、鉄鋼材料学と鉄鋼材料製造技術の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。