

氏名	太田豊彦 おお た とよ ひこ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1380号
学位授与の日付	昭和56年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	環流式真空脱ガス法による純鉄系電磁鋼の製造法

論文調査委員 (主査) 教授 盛利貞 教授 中村陽二 教授 近藤良夫

論文内容の要旨

本論文は環流式真空脱ガス装置(以下RHと略記)を用いて高品質の純鉄系電磁鋼板を、高い生産性のもとで経済的に製造する方法を見出すことを目的として実施した一連の研究結果をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は緒論で本研究を開始した動機と目的とを述べ、解決しなければならない問題点を列挙している。

第2章では純鉄系電磁鋼板の磁気特性、とくに鉄損と磁束密度に及ぼすフェライト粒度および不純物元素の影響を総合的に検討し、鉄損はフェライト粒径を大にすれば低下すること、磁気特性はCとOによっていちじるしく劣化すること、Nは0.001~0.002%の範囲では磁気特性に影響しないことなどから、LD転炉とRH脱ガス操業の組合せによって製造した純鉄系電磁鋼板(板厚0.5mm)は $P \leq 0.02\%$ 、 $S \leq 0.02\%$ 、 $Mn 0.3 \sim 0.4\%$ の場合、鉄損 $W_{15/50} \leq 7.0Wkg$ 、磁束密度 $B_{25} \geq 1.60T$ を目標とし、そのためには $C \leq 0.007\%$ 、 $O \leq 0.025\%$ にする必要があることを明らかにしている。

第3章ではこの目的に適したRH脱ガス装置の開発と、脱ガスによる溶鋼の精錬処理および溶鋼の組成とくにC、Oの制御方法とその結果について述べている。まず装置については真空槽に脱炭促進のための酸素吹込みランスを設け、溶鋼滴の飛散防止のため槽高を高くし、環流管内張り耐火物はそのトラブルを解決するためキャストブル耐火物による目地なしの一体構造とし、急速排気用に大容量のウォーターリングポンプを特設している。つぎに取鍋ならびに真空槽内の溶鋼の環流速度を ^{198}Au を用いて測定し、環流速度は上昇管内でのAr流量の1/3乗に比例して増加するが、Arの流量が400~500Nl/minで最大値40t/minに達し、これ以上吹込めば却って低下すること、真空槽内における溶鋼の滞留時間は最大環流速度で約6秒であることなどを明らかにし、さらに脱ガス処理中のO濃度を知るために固体電解質を用いる消耗型酸素プローブの使用を試み、その浸漬頭部の構造を改良して酸素定量時の測定精度を高めている。また脱ガス処理中のC、O濃度の相互関係を詳細に検討し、 $C < 0.06\%$ ではCとOとの濃度積は1600℃におけるCO生成反応の平衡値に等しいが、 $C > 0.06\%$ では過剰酸素が存在すること、脱ガス処理30分以内における脱炭量と脱酸素量との関係は $\Delta O \approx 0.96\Delta C$ で与えられることなどを実験的に明らかにし、Cあるいは

Oの拡散律速を仮定して速度式を立て、真空槽および環流管内で起こる脱炭量を求める計算式を導き、実測値からその係数を決定し、さらにRH脱ガス処理前の種々のC、Oの初濃度から脱ガス処理によって $C \leq 0.006\%$ 、 $O \leq 0.025\%$ の溶鋼を確実に製造する操業法を決定している。

第4章ではRH脱ガス処理溶鋼を9tの鑄型に鑄造した鋼塊6本について、溶鋼成分と鋼塊断面各位置における成分偏析との関係を鋼塊のマクロ組織およびC、Si、Mn、P、S、Al、Oの各成分分析によって調査し、分塊圧延後の収縮孔および気泡の圧着状況を考慮して、鋼塊が $C 0.007 \sim 0.008\%$ 、 $O < 0.03\%$ であれば気泡が発生せず、 $O \geq 0.015\%$ であれば1次収縮孔は生成せず、またOが $0.01 \sim 0.025\%$ であればキルド鋼の凝固組織が得られV偏析、逆V偏析がほとんどないことを確かめている。

第5章ではRH脱ガス処理鋼の冷間圧延鋼帯をオープンコイルベル型焼鈍炉を用いてAXガス雰囲気中で脱炭焼鈍処理を行った結果を述べている。この焼鈍処理に要する時間は脱ガス処理しない従来の鋼帯では57.5hを要していたが、脱ガス処理した鋼帯では脱炭すべきC量が低下したため水蒸気導入時間が大幅に短縮でき、1サイクルの所要時間が従来の6割に短縮されている。

第6章では電磁鋼板の品質に対する要求を満す範囲で製造費を低減させ、しかも生産性を向上させる方法を考察し、併せて製造した鋼板の磁気特性を調査している。その結果LD転炉精錬-RH脱ガス処理工程の歩留りは $C 0.05 \sim 0.07\%$ で、また分塊歩留りは $O 0.015 \sim 0.025\%$ のとき最大となり、連続鑄造した場合の良鋼片歩留りは造塊の場合より約7%高く、O濃度も低いために磁気特性がさらに向上すること、RH処理中の溶鋼温度は O_2 ガスの吹込みとフェロシリコン添加を併用すれば制御が容易であることなどを明らかにし、本工程で製造した製品の磁気特性は従来法の製品より優れ、当初の目標値を満足することを確認し、O濃度に対応して磁気特性の規格を制定し、併せてそれぞれの良鋼片歩留りを示している。

第7章は本論文の要約である。

論文審査の結果の要旨

けい素鋼板に比較して安価な純鉄系電磁鋼板は小型電気機器用としての需要が戦後急速に増加したが、従来は低炭素リムド鋼帯をオープンコイル焼鈍して脱炭する方法を用いていたため生産性が低く、また脱炭は行ってもO濃度が高くて磁気特性を劣化させる難点があった。本論文はLD転炉と環流式真空脱ガス装置とを併用して高品質の純鉄系電磁鋼板の工業生産を企図して実施した一連の現場実験と理論的検討結果とをまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 純鉄系電磁鋼板の磁気特性とくに鉄損と磁束密度に及ぼす共存元素の影響を検討し、磁気特性はCとOの濃度が増加するとかなり劣化すること、Nは $0.001 \sim 0.002\%$ の範囲では影響しないこと、LD転炉吹錬による工業用純鉄系電磁鋼板(板厚0.5mm)の化学組成に対して要求される磁気特性を満すためには $C \leq 0.007\%$ 、 $O \leq 0.025\%$ とする必要があることを明らかにしている。

2) LD転炉溶鋼を極低炭素、低酸素濃度にまで脱炭、脱酸するためRH脱ガス装置を改造し、真空槽に酸素ランスを設け、飛散溶鋼滴の堆積防止のため高い槽構造とし、キャストブル耐火物による目地なしの一体煉瓦を使用した環流管を開発し、急速排気のため大容量のウォーターリングポンプを設置した装置を組立てている。

3) 真空槽内の溶鋼環流速度を ^{198}Au を用いて実測し、環流速度は上昇環流管に吹込む Ar 流量の 1/3 乗に比例して増加し、流量が 400~500 Nl/min で最大値に達し、さらに流量を増加するとかえって低下すること、最大環流速度における溶鋼の真空槽内滞留時間は実測によると 6 秒であり、理論的検討に基づく数式モデルによる計算とほぼ一致すること、脱ガス処理中の脱炭は 19% が上昇管内で、81% が真空槽内で起こることなど RH 環流装置の脱ガス特性を解明し、また 1 次の脱炭速度式を仮定して見かけの脱炭速度定数を求め、物質収支モデルに基づいて速度定数に及ぼす環流速度の影響を解析している。

4) 脱ガス処理前と処理中の C、O 濃度との間には定量的な関係があり、この関係から CO ガス生成反応によって極低炭素濃度に脱炭するためには処理前の C 初濃度を 0.05% 以下にする必要があり、脱炭と同時に O 濃度も 0.025% 以下にするためには C 初濃度を 0.04% 以下にはできないことなどを解析的に明らかにし、目標を達成するための具体的な作業手順を各初期条件に応じて決定し、安定して目標成分の溶鋼を得ることに成功している。なお O 濃度の測定には浸漬頭部構造を改良した固体電解質酸素プローブを用い測定精度を高めている。

5) 極低炭素、低酸素鋼塊の凝固組織と成分偏析とを調査し、健全鋼塊が得られる C、O の濃度範囲を決定し、この鋼塊から製造した鋼帯をオープンコイル焼鈍炉で脱炭処理し従来法に比較して焼鈍時間を約 60% に短縮している。

6) 純鉄系電磁鋼板を工業生産する場合に最大歩留りを得る条件を以上の知見に基づいて決定し、とくに連続铸造の良鋼片歩留りは造塊のそれより 7.1% 高く、優れた磁気特性が得られることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は磁気特性の優れた安価な純鉄系電磁鋼板の工業的生産に適した装置とプロセスとを考案し、実験結果に理論的考察を加えてその製造技術の開発に成功したもので、工業上はもとより学術上にも寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。