

学位論文題名

鋼の連続铸造における気泡および 介在物の動的挙動に関する研究

学位論文内容の要旨

鋼の連続铸造(以下、連铸と称す)は設備、操業技術の進歩とともに、優れた生産性を有し、日本における鋼の連铸比率は2002年には97.8%を記録するに至った。

現在では、世界的な省エネルギー、CO₂削減に代表される環境保護の気運が高まる背景もあって、連铸法は一部の特殊用途品を除いて製品素材を供給する極めて重要なプロセスとなっており、その完成度は極めて高いものとなりつつある。

しかしながら、鋼材の使用条件はより過酷になってきており、高生産性を維持しつつ、鑄片の品質欠陥に対してより一層の改善が求められている。

鑄片品質を保証するうえで、介在物、ピンホールの残存は、製品厚みなどのサイズの違いや製品用途、鋼の組成の違いが多岐にわたることから、多くの研究がなされてきており顕著な成果が報告されているが、連铸タンディッシュから鑄型間における溶鋼流動に関しては可視化が不可能なうえ高温であることから、未だ不明な点が多い。

また、連铸法における介在物、気泡の動的挙動は溶鋼流動のみならず、鋼の組成による凝固シェルの形成の違いやマシンデザインなどの外的影響を受けるため、これらの因子を考慮したうえで、その発生メカニズムを検討する必要があるものと考ええる。

一方、これらの研究に欠かせない鑄片の清浄性評価技術は、個々の評価技術のデータ精度が向上してきており、ボールベアリング鋼や軸受鋼などの超清浄鋼などでは求められる製品品質に合わせた適切な選択がなされ体系的に整理されつつある。

しかしながら、鑄片から溶鋼流動を評価する手法については、デンドライト1次アームの偏向角から凝固界面における溶鋼流速を求める手法について報告がなされているのにとどまっており、鑄片の清浄性に対する溶鋼流動の影響を知る場合は、実機における操業実績や鑄型内容鋼湯面変動などの測定結果をもって評価する場合が多い。

このような評価手法の場合、清浄性に対する連铸の操作因子の影響を知ることに対しては有効ではあるが、鑄片の凝固収縮や測定誤差の影響を受けやすいことから結果のばらつきが大きくなる問題を有している。

このような問題点を解消して連铸機内における溶鋼流動と介在物ならびに気泡の分散挙動を正確に把握することは、鑄片の清浄性を向上させるうえで重要な課題であり鑄片において、より精度の高い清浄性評価技術を確立するとともに、溶鋼流動に関与する因子を評価する手法を研究することは意味深いものと考ええる。

このような背景のもと、本研究では製品用途が最も広い連铸スラブを対象に、介在物と気泡の動的挙動について、コールドモデルによる基礎研究ならびに実機プロセスにおける分散挙動について明らかにするとともに、適正な鑄片の清浄性評価技術と溶鋼流動に関する評価手法を明確にすることを主目的とした。

以下に、各章の具体的な目的と内容を述べる。

第1章は緒言であり、従来の研究状況を調査し、本研究の意義を明確にした。

第2章では、水モデルを用いて IN から鑄型内における気泡の動的挙動ならびに鑄型内容融パウダーの巻き込み現象の関連を研究した。

はじめに、連鑄鑄型を模した槽内において気-液2相流を水平方向に吹き込み、気泡の分散挙動を観察するとともに、噴流内にガスを吹き込むことによって生じる現象のモデル化を検討した。さらに、鑄型内における気泡の分散挙動については IN から鑄型内における気泡の動的挙動を水モデルを用いて、IN 管内から鑄型間における液の流動と気泡の分散挙動について研究を行った。

鑄型内容融パウダーの巻き込み現象については、IN 近傍に発生する渦による溶融パウダーの巻き込みに着目して 1/2.5 の水モデル実験装置を用いた観察実験を行った。

第3章では、連鑄スラブの清浄性評価技術について研究を行った。

まず、鑄片から溶鋼流動の影響を定量的に把握する手法としてデンドライト偏向角から求める凝固界面における溶鋼流速をパソコンによる画像解析を適用して求める手法と、スラブオッシレーションマークから鑄型内メニスカスの変動量を求める指標の導出法を研究した。さらに、従来の清浄性評価手法とあわせて高周波超音波 C スコープ探傷装置による鑄片探傷法の欠陥弁別法を研究した。

第4章は連鑄実機におけるタンディッシュから鑄型間の溶鋼流動と介在物ならびに気泡の動的挙動を研究した。

タンディッシュにおいては、取鍋とタンディッシュをつなぐ注入管のシール方法を改善することによって、タンディッシュ内における清浄性に与える影響について述べる。

IN においては、SG からの外気侵入の影響を定量評価するとともに、密閉式 SG を実機に適用することによって得られる効果について述べる。

鑄型内においては、水モデル実験結果と実機鑄型におけるパウダー巻き込み現象の比較検討を行った。さらに、スラブ内に残存したピンホール被害のひとつである気泡性偏析の実態と生成機構について述べる。

第5章は上述した内容について総括するとともに、鉄鋼素材の評価技術に関する今後の展開の方向も展望として述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 井 口 学
副 査 教 授 大 塚 俊 明
副 査 教 授 高 橋 英 明
副 査 助 教 授 大 参 達 也

学 位 論 文 題 名

鋼の連続鋳造における気泡および 介在物の動的挙動に関する研究

鋼の連続鋳造(以下、連鋳と称す)は設備、操業技術の進歩とともに、優れた生産性を有し、一部の特殊用途品を除いて製品素材を供給する極めて重要なプロセスとなっており、その完成度は極めて高いものとなりつつある。

しかしながら、鋼材の使用条件はより過酷になってきており、高生産性を維持しつつ、鋳片の品質欠陥に対してより一層の改善が求められている。

介在物、ピンホールの鋳片内への残存は、その生成機構や、対応策については多くの研究がなされてきており顕著な成果が報告されているが、実機においては可視化が不可能なうえ高温であることから、連鋳タンディッシュから鋳型間における溶鋼流動は未だ不明な点が多く、その発生メカニズムを検討する必要があるものと考ええる。

一方、これらの研究に欠かせない鋳片の清浄性評価技術は、体系的に整理されつつあるものの、鋳片の清浄性に対する溶鋼流動の影響を知る場合は、実機における操業実績や鋳型内溶鋼湯面変動などの測定結果をもって評価する場合が多い。

このような評価手法の場合、清浄性に対する連鋳の操作因子の影響を知ることに対しては有効ではあるが、鋳片の凝固収縮や測定誤差の影響を受けやすいことから結果のばらつきが大きくなる問題を有している。

このような問題点を解消して連鋳機内における溶鋼流動と介在物ならびに気泡の分散挙動を正確に把握することは、鋳片の清浄性を向上させるうえで重要な課題であり鋳片において、より精度が高い清浄性評価技術を確立するとともに、溶鋼流動に関与する因子を評価する手法を研究することは意味深いものと考ええる。

このような背景のもと、本研究では製品用途が最も広い連鋳スラブを対象に、介在物と気泡の動的挙動について、コールドモデルによる基礎研究ならびに実機プロセスにおける分散挙動について明らかにするとともに、適正な鋳片の清浄性評価技術と溶鋼流動に関する評価手法を明確にすることを主目的とした。

以下に、各章の具体的な目的と内容を述べる。

第1章は緒言であり、従来の研究状況を調査し本研究の意義を明確にした。

第2章では、水モデルを用いて浸漬ノズルから鋳型内における気泡の動的挙動ならびに鋳型内溶融パウダーの巻き込み現象の関連を研究した。

はじめに、連鋳鋳型を模した槽内において気液二相流を水平方向に吹き込み、気泡の分散挙動を観察するとともに、噴流内にガスを吹き込むことによって生じる現象のモデル化を検討した。さら

に、鋳型内における気泡の分散挙動については浸漬ノズルから鋳型内における気泡の動的挙動について水モデルを用いて、浸漬ノズル管内から鋳型間における液の流動と気泡の分散挙動について研究を行った。

鋳型内溶融パウダーの巻き込み現象については、浸漬ノズル近傍に発生する渦による溶融パウダーの巻き込みについて水モデル実験装置を用いた観察実験を行った。

第3章では、連鋳スラブの清浄性評価技術について研究を行った。まず、鋳片から溶鋼流動の影響を定量的に把握する手法としてデンドライト偏向角から求める凝固界面における溶鋼流速をパーソナルコンピュータによる画像解析を適用して求める手法と、スラブオッシレーションマークから鋳型内メニスカスの変動量を求める指標の導出法を研究した。さらに、従来の清浄性評価手法とあわせて高周波超音波Cスコープ探傷装置による鋳片探傷法の欠陥弁別法を研究した。

第4章は連鋳実機におけるタンディッシュから鋳型間の溶鋼流動と介在物ならびに気泡の動的挙動を研究した。

タンディッシュにおいては、取鍋とタンディッシュ間の注入管のシール方法を改善することによって、タンディッシュ内における清浄性に与える影響について述べる。

浸漬ノズルにおいては、スライディングゲートからの外気侵入の影響を定量評価するとともに、密閉式スライディングゲートを実機に適用することによって得られる効果について述べる。

鋳型内においては、水モデル実験結果と実機鋳型におけるパウダー巻き込み現象の比較検討を行った。さらに、スラブ内に残存したピンホールの弊害のひとつである気泡性偏析の実態と生成機構について述べる。

第5章は上述した内容について総括するとともに、鉄鋼素材の評価技術に関する今後の展開の方向も展望として述べた。

これを要するに、著者は、鋼の連続鋳造タンディッシュ-鋳型間における気液二相流の気液二相噴流内の乱流現象に対して新たな知見を得るとともに、実用生産プロセスへの展開と新たな鋳片評価技術の確立を図ることで、物質移動工学のみならず、金属凝固工学や物理工学分野に対しても貢献するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。