

審査の結果の要旨

氏名 山崎 伯公

本論文は、鉄鋼連続鋳造において操業上および品質上の課題である冷却過程の凝固不均一に対して、計算機シミュレーションを用いて原因の解明を行った。さらに、凝固不均一を改善する方法を提案し、その有効性を示した。本論文は5章で構成されている。

第1章は序論である。鉄鋼製造プロセスにおいて、連続鋳造は液体状態の溶鋼をスラブと呼ばれる固体状態に連続的に凝固させるプロセスである。溶鋼は鋳型内に注入され、外周部から凝固していく。凝固した外周部は凝固シェルと呼ばれる。鋳型の下には薄い凝固シェルをサポートするロールが複数配置されており、完全に凝固させるためにロール間にスプレーノズルが配置され、水や水とエアを混ぜたミストによる冷却が行われる。鋳型を1次冷却帯、鋳型下のスプレー冷却帯を2次冷却帯と称する。連続鋳造プロセスにおける操業上および品質上の大きな課題として、1次2次冷却過程での凝固不均一生成が挙げられる。凝固シェルの成長挙動を直接観察することは難しく、本研究では、連続鋳造プロセスの鋳型内および2次冷却過程における凝固不均一生成メカニズム解明とその改善を目的に、計算機シミュレーションを用いた研究を行うとしている。

第2章では1次冷却過程における凝固セルの変形解析を用いた凝固不均一の改善について述べられている。連続鋳造鋳型内での凝固シェルの変形挙動を解析する計算モデルを開発し、鋳型短辺テーパ形状が凝固シェル成長に及ぼす影響を定量的に評価した。精度を検証する方法として、凝固遅れ部のシェル厚を健全部シェル厚で除した値で定義した凝固均一度による評価を提案した。また、凝固シェルと鋳型間の接触力を評価する指標として摩擦拘束力を定義し、限界値との比較を行うことを提案した。短辺が1段テーパの場合はコーナー部近傍に凝固シェルと鋳型の間ギャップが生じて凝固遅れが発生することが分かった。マルチテーパを採用することで、コーナー部のギャップが減少し、凝固が均一になることが分かった。凝固均一度の実測値は計算値と定量的に一致し、解析の精度が確認できた。開発したモデルを用いてマルチテーパ短辺形状を設計し、実機に適用し凝固不均一が改善されたとしている。

第3章では粒子法を用いた2次冷却過程におけるスプレー水挙動解析による凝固不均一生成の現象解明が述べられている。ロール3段とその間に配置された15本のノズルをモデル化し、1本あたりの流量を5~20L/minの条件で粒子法による流動解析を実施した。軸受を垂れる水や端部に流れるスプレー水の流量は計算と実測で定量的に良く一致した。粒子法によるスプレー水挙動解析により、軸受部でスプレー水が下流側に流出する垂れ水挙動や、ロール上にスプレー水が溜まる挙動が明らかになった。また、垂れ水とスプレーが衝突することによって、水量密度がスプレー単体の時と比べて大きくなることが計算で

示された。水量密度増加は熱伝達係数増加につながり、軸受部で過冷却になっている可能性がある。また、ロール上の溜まり水はスプレーが衝突することで流れが乱されていることが計算された。この部位でも熱伝達係数が増加し過冷却になっていると考えられる。

第4章では2次冷却の凝固解析を用いた凝固不均一の改善について述べられている。粒子法による流動解析で明らかになった垂れ水、溜まり水とスプレー水の干渉を模擬した熱伝達係数の測定試験を実施した。実測した熱伝達係数を用いて凝固計算した結果、ストランド内の2次冷却軸受間の垂れ水及びロール溜まり水は凝固シェルの幅方向不均一に影響していることが分かった。解析で得られた幅方向の温度分布は、放射温度計を用いた測定値と良く一致した。中心部過冷却の原因は、ロール軸受を通るスプレー垂れ水がスプレー水と干渉したり、分割ロール中央部の溜まり水とスプレーが干渉したりして熱伝達係数が増加したことによると考えられる。中心部過冷却を防止するために、垂れ水と干渉するスプレーを止水したり、ロール上の溜まり水を除去するためにロールにスリットを設置したりする対策を考案した。これにより、スラブの幅方向で従来100℃以上の温度差が発生していたが、対策によりその温度差は50℃程度に低減することが分かった。

第5章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文では有限要素法および粒子法を用いて連続鋳造における冷却過程の計算機シミュレーションを行い、凝固不均一が生じる原因について明らかにした。さらに、冷却不均一を改善する方法を提案し、計算機シミュレーションを用いてその有効性を示すとともに、実際の設備に適用して製品の品質向上につなげることができた。これは、工学における大きな進歩をもたらすものである。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。