

審査の結果の要旨

氏名 梶谷敏之

近年の鉄鋼需要の拡大により鋼の連続鋳造の高速化と鋳片表面品質改善が求められ、鋳型－鋳片間の潤滑と伝熱・初期凝固の制御が重要な課題となっている。鋼の連続鋳造では鋳型をオシレーションさせるとともに、モールドフラックスを溶鋼表面に散布する。このモールドフラックスは鋳型－凝固シェル間で熔融フラックスフィルムとして存在し、鋳型内の伝熱と潤滑に多大な影響を与えるため、その挙動を理解し、制御することは、高速鋳造と鋳片表面高品質化の実現に不可欠である。本研究は、このような鋼の連続鋳造におけるモールドフラックスの役割と挙動を実験と理論の両面より明らかにしたもので、6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の工業的な背景と鋼の連続鋳造法における鋳型内の潤滑と初期凝固に関する従来の研究を概説し、モールドフラックスに関する研究の必要性を述べている。

第2章では、鋳型へのモールドフラックス流入機構について検討した結果を述べている。ここでは、鋳型・凝固シェル間モールドフラックスフィルム厚が溶鋼静圧とフラックス内圧力により変化するという観点からフラックス流入のコールドモデル実験を行っている。その結果、フラックス流路が上向きに広がる場合と下向きに広がる場合ではフラックス流入挙動が異なり、連続鋳造実操業における鋳造速度とフラックス粘度の増加に伴うモールドフラックス消費量低下を理解するにはフラックス流路が下向きに広がっている必要があること、溶鋼メニスカスに沿った凝固シェル生成がフラックス流入を促進することを明らかにしている。また、鋳型オシレーションのある場合には鋳型上昇時にフラックス流路が拡大し、鋳型下降時にフラックスが流入するという機構を解明し、これにより連続鋳造の鋳造速度、モールドフラックス粘度、鋳型オシレーション振動条件とモールドフラックス消費量との関係が包括的に理解できることを述べている。

第3章では、初期凝固シェル不均一成とオシレーションマークが顕著な極低炭素鋼について、初期凝固におけるモールドフラックスの役割を検討した結果を述べている。

まず、金属チル板を用いた実験により、大きな核生成過冷度で微細な表面凝固組織が形成され、核生成位置によりその後の成長速度が異なり凝固シェル厚に差が生じることを明らかにしている。一方、モールドフラックスフィルムを介した連続鋳造鋳片では微細組織が観察されないことから、モールドフラックスにより核生成過冷度が低減し、均一な凝固シェルの成長に寄与していること、鋳型下降時にメニスカスに沿った凝固によりオシレーションマークが形成され、鋳型内潤滑に対して有効に作用するとしている。

第4章では、アルミキルド鋼に比べ鋳型内潤滑不良によるブレイクアウトが発生しやすいシリコンキルド鋼の連続鋳造において、モールドフラックスフィルム中に多数の気泡が生成している点に着目し、フラックス中の水酸化物イオンによる気泡発生機構を明らかにするとともに、その鋳型内伝熱に対する影響の検討結果について述べている。ここでは、モールドフラックス中の水酸化物イオンを ^1H 固体NMRにより定量分析している。その結果、大気中水蒸気が熔融フラックス中に水酸化物イオンとして溶解、溶鋼中脱酸元素により還元され、溶存水素として移動すること、この過程でモールドフラックス中の水酸化物イオンが過剰となるとフラックスフィルム中に気泡が発生すること、また、モールドフラックスの結晶化過程で、液相中への水素の再分配と体積収縮に伴う負圧により気泡が発生することを明らかにしている。また、アルミキルド鋼でも鋼中水素が著しく高いと水酸化物イオンの還元反応が抑制され、気泡が発生することを考察している。そして、これらの知見よりフラックス中水酸化物イオンを低減できるモールドフラックスを開発し、気泡の発生、さらにはブレイクアウトを防止できることを実証している。

第5章では銅による鋼の高温脆化挙動を検討し、連続鋳造の2次冷却帯における割れ発生防止に対するモールドフラックスの寄与を検討した結果を述べている。まず、銅0.2%を含む鋼の高温引張試験により、その脆化温度範囲は $1000\sim 1150^\circ\text{C}$ であり、この温度域が高温酸化により鋼表面に析出した銅が液相となり、かつスケールの固相率が高い範囲であることを示し、液相の銅が熱歪によりオーステナイト粒界に侵入し、割れをもたらすことを明らかにしている。そして、連続鋳造2次冷却帯における割れの防止には、この脆化温度域以下に急速に冷却するか、緩冷却により熱歪を低減する必要があるとしている。また、このような温度制御には冷却水の沸騰状態を膜沸騰から遷移沸騰に変化させる必要があり、鋳片から容易に剥離するモールドフラックスが鋳片表面割れの防止に有効であることを実証している。

第6章は結論であり、本研究結果を総括し、工業的な応用について述べている。

以上要するに、本研究は鋼の連続鋳造におけるモールドフラックスの鋳型内の潤滑と伝熱に対する役割を明らかにし、連続鋳造の高速化と鋳片表面の高品質化への技術的指針を明確にしたもので、鉄鋼材料プロセス工学の発展に大きく貢献するものである。

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。