

博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名 (千葉県) 仁井谷 洋



博士論文題名 鉄鋼冷却伝熱評価手法の改良と連続鋳造二次冷却プロセスのフラットスプレー非定常冷却特性

要旨

本論文は、第1章から第5章で構成される。

第1章では、鉄鋼製造プロセス、特に本研究が対象とする連続鋳造二次冷却工程の冷却に関わる課題およびラボ実験での沸騰冷却特性評価に不可欠な非定常熱伝導逆問題に関する解析的解法の手法について概説した。

1.1 節では冷却にかかわる課題について述べた。連続鋳造設備では、溶鋼を凝固させて中間製品であるスラブ、ブルーム、ビレットを製造する。サポートロールで支持ながらスプレー冷却する二次冷却工程では鑄片欠陥防止のため緻密な温度制御が必要である。凝固と内部割れ防止の観点では強冷却が、表面割れ防止の観点では緩冷却が必要であり、相反する要求に対応せねばならない。一方連続鋳造機内で強冷却の直後、超緩冷却を行うことによって、表層に微細組織を形成し、相反する要求を解決する手法が提案されているが、これには強力な冷却設備が必要であり、容易に実現できない。低コストで強冷却を達成する為、著者は核沸騰を活用した冷却手法を提案した。しかし、連続鋳造の特徴である、高温で温度範囲が広く、低速で通板され、断続冷却となる条件に関する知見は現状ほとんど無い。核沸騰に関する知見はプール沸騰に関するものが主で、スプレー冷却、特に連続鋳造二次冷却に関する知見は、鑄片が一般に高温であることから、膜沸騰に関する知見がほとんどである。

1.2 節では、ラボ実験での非定常熱伝導逆問題解

析の従来手法について述べた。連続鋳造二次冷却プロセスの特徴の一つに、高温で温度範囲が広いことが挙げられる。これにより熱伝導率は倍・半分の変動があり、熱伝導方程式の非線形項を無視できなくなる。また沸騰冷却のクエンチ過程において、冷却速度は瞬間的に 1000 K/s を超える場合もあり、これは非線形項起因の解析誤差を増幅させる。本節では先ず、冷却実験の熱伝達解析手法の概説を行い、次に従来のラプラス変換を用いた逆問題解析手法を鉄鋼冷却に適用した時の熱電対測定位置や解析パラメータの推奨値を数値解析により導き、最後に上述の逆問題解析精度の検証、即ち熱伝導方程式の非線形項による解析誤差の検証を行った。

第2章では、第1章で述べた連続鋳造プロセスに関わる技術的課題を整理し、本研究の目的に到達するための具体的な目標について述べた。

第3章では鉄鋼冷却伝熱評価手法の改善方法について述べた。変物性の影響をより厳密に取り扱うため鋼材加熱炉の解析に用いられていた変換温度法を、解析的手法であるラプラス変換を用いた熱伝導逆問題解析手法に適用し、熱伝導方程式の非線形項に起因する誤差を解消する方法を提案した。また円筒試験片の解析のため、一次元円筒座標系における熱伝導逆問題解析方法を示した。

第4章では、連続鋳造二次冷却プロセスのフラットスプレー非定常冷却特性について述べた。実験には中空円筒ローター試験片を用いた移動式冷却試験装置を用い、二流体フラットスプレーによる冷却温度履歴を種々の鋳造速度、水量、水温で測定した。試験片内に設置した熱電対で得られた温度履歴を第3章で提案した熱伝導逆問題解析手法を用いて、表面温度と熱流束を算出した。実験で得られた結果を整理し、スプレー直下の熱流束特性、移動方向の熱流束分布、沸騰曲線に対する鋳造速度、水量、水温の影響、そして特に注目する核沸騰の特徴的な冷却挙動の決定因子を詳細に解析した。その結果、高温の膜沸騰域では、例えば平均熱流束が鋳造速度に依

博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名 仁井谷 洋

存しない一方、熱流束分布が速度に依って変化するなど、移動による特徴的な挙動が見られるが、実質的に従来知見と同様の結果が得られた。MHF 点に相当する濡れ開始温度は、高水量、低水温、低速鋳造で高温に遷移することが分かった。3.6 m/min 以下速度で遷移沸騰は瞬時に通り抜けるため、濡れ開始温度は核沸騰到達の条件となり、大変重要な知見である。最後に核沸騰の伝熱挙動は、スプレー散水域の下流に濡れが拡大する複雑な冷却挙動となることが分かった。スプレー直下の熱流束は、水量、水温、鋳造速度に依って変化する一方、濡れ領域の長さは、水量が多く、表面温度が低いほど長くなり、平均熱流束を増大させた。この挙動はプール沸騰や全面冷却スプレー実験では得られない、連続鋳造特有（低速通板、断続冷却）の現象である。

最後に第5章において、本研究で得られた結果をまとめた結論について述べた後、今後の研究の展望について述べた。

本研究では核沸騰の熱流束向上代とそのメカニズムを解明し、また核沸騰の到達条件も明らかにした。今後は安定した核沸騰を実現する具体的なスプレーの選定および開発、冷却水温の制御法案や設備設計、操業パターンの設計など、エンジニアリング視点で強冷却による割れ抑制技術の開発に取り組んでゆく。本研究の成果は、今後行う実機における技術開発に対し、非常に有用である。