

氏 名	かじ 棍 原 しん 伸 治
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エ ネ 博 第 34 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 変 換 科 学 専 攻
学位論文題目	ストリップキャスターにおける主要部材の特性に関する解析的研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 井 上 達 雄 教 授 塩 路 昌 宏 助 教 授 宅 田 裕 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、ストリップキャスターの鑄片に影響を及ぼす装置技術課題に関して、装置技術を主体に解析的検討を行った。すなわち、ストリップキャスターによって製造される鑄片の品質を向上させるモールドロール、短辺堰、モールドロール表面の肉盛材料、プールの装置技術についてその特性を解析的に考察し、パイロットプラントで検証を行い、改善方法を提案することを目的としたもので、7章から成っている。

第1章は緒論であり、製鋼プロセスにおけるストリップキャスターの位置付けを説明するとともに、ストリップキャスターの従来の開発研究を概説し、本研究の位置付けと技術課題・研究の目的およびパイロットプラントの概要について述べている。

第2章では、鑄造中のモールドロールについて、温度および応力分布・変形、鑄造終了後の残留変形について解析と検討を行い、幅方向に均一厚さの鑄片を得る方法を明らかにしている。モールドロールについて、二次元有限要素法伝熱解析によって表面温度を計算した結果、一定間隔で設けられた冷却水路が及ぼすモールドロール表面への温度不均一の影響は非常に小さく、一次元差分法解析で十分な精度が得られることが確認されている。その結果についてはパイロットプラントで計測されたロール背面温度の比較によって、解析精度の検証も行われている。さらに、モールドロールに、操業中のモールドロールの変形を考慮したアンクラウン（くら形）加工を施して鑄造することによって、フラットな鑄片を得ることが可能であることを確認している。

第3章では、モールドロールとともに溶鋼プールを形成する短辺堰について、その母材として用いた耐火物材料およびそのロールとの摺動部分に埋込まれたセラミックス部材について、損耗メカニズムを明らかにし、最適化の方法を述べている。溶鋼保持部の母材耐火物には、骨材粒子が微細で、かつジルコニア（ ZrO_2 ）量の多い材質が耐溶鋼性の使用を推奨している。一方、短辺堰のセラミックス部材の損耗は、溶鋼凝固シェルと摺動する部分で大きく、損耗量は鑄造時間と溶鋼の含有マンガン量の積に関して比例関係として整理できることを新たに提案している。さらに、三次元非定常伝熱・応力解析を行うことによって、重要な問題である鑄造初期における熱衝撃による短辺堰母材のクラックが大型の予熱ヒータで十分予熱することによって防止できることを確認している。

第4章では、ストリップキャスター実験機の溶鋼プール内について、ラージェディシミュレーション（L. E. S.）による乱流の非定常数値計算および実機サイズの水モデル実験機によって、流れの特性について解析を行っている。従来型の連続鑄造機で観察された流動の変動と同様なものがストリップキャスターにおいても起っていることが観察され、水モデル実験機における流れの実測と解析で求められた流れの変動は、1.0～1.5Hzの小さな振動と約10秒周期の大きな振動が見られ、両者は、よく一致することが確認された。溶鋼プールについて波動方程式を解いたモード解析の結果、長手方向モードが4の場合に1.57Hzの固有振動数があり、それと水モデル実験の観察結果およびロール表面流速計測結果とがよく一致することを確認した。さらに、約10秒周期の大きな振動は、流れの振動は渦の中心がノズルから短辺堰方向に移動するような不均

等な流れによるものであることを明らかにした。

第5章では、ストリップキャスターの鋳片板厚を一定にするための技術を要因分析し、一定厚みの鋳片を得るための、ロール間隔推定モデルを提案している。これは、鉛板の試圧延によって得られたミル剛性、ロールの変形解析から求められたロールの熱変形量およびモールドロールの位置検出装置で計測されたモールドロールの位置とロール間隔計の差から、鋳造中に実際のロール間隔を推定するモデルである。ロール反力を一定として鋳造を行った結果、鋳片の板厚は鋳造時間の経過とともに減少する。そのため、一定厚みの鋳片を得るためのロール間隔一定制御を行う際には、ロール反力が一定範囲内になるようにロール速度を減速調整する必要があること、これらのモデルを用いてパイロットプラントで鋳造した結果、形状の良好な鋳片が得られることを述べている。

第6章では、第2章で検討した温度変化を受けるストリップキャスターのモールドロール表面の肉盛材の開発について述べている。ストリップキャスター表面肉盛材として現在用いているNi基超合金であるNCF625をベースとして、耐力を向上させた上で必要な延性を確保するという相反する物性値の最適バランスを持つ材料の開発について述べている。Al, TiおよびFeを調整した3種類の材料を溶製し、それらの物性値を測定して、Manson-Coffin 式を適用し、773K-1073K および773K-1073Kの熱疲労寿命を評価した結果、NCF625のAlを1%, Tiを1%, Feを1%にしたもの(Alloy C)の耐熱疲労寿命が優れている結果を得ている。そのAlloy Cについて、熱疲労試験を行い、その結果、Alloy CはNCF625と比較して1.8倍の耐熱疲労寿命を持つことを明らかにしている。実用面ではAlloy Cの粉末を製造し、肉盛溶接施工を行った結果、NCF625より高めの硬度を有する均質な肉盛層が得られ、さらに、その粉末をストリップキャスターのモールドロールに肉盛施工し、パイロットプラントによって鋳造した結果、NCF625と比較して、Alloy Cは約2.7倍の耐熱疲労寿命をもつことを確認した。

第7章では、本研究によって得られた総括的結論をまとめ、ストリップキャスターの開発に関する今後の指針についての見解を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ストリップキャスターの鋳片に影響を及ぼす装置技術の諸課題、とくにモールドロール、短辺堰、モールドロール表面肉盛材料、プールの装置技術に関して、解析的にその特性を明らかにし、改善方法を提案することを目的としたものである。得られた主な結論は以下のとおりである。

1. 鋳造中のモールドロールについて、有限要素法および差分法によって伝熱解析を行い、ロール温度振幅のスリーブ厚の依存性を明らかにした。また、モールドロールの変形を考慮したアンクラウン(くら形)加工を施すことによって、フラットな鋳片を得ることが可能であることを、解析的に明らかにした。
2. モールドロールとともに溶鋼プールを形成する短辺堰について、母材の耐火物材料およびロールとの接触部分に埋込まれたセラミックス部材について検討した。耐火物には、骨材粒子が微細で、かつジルコニア(ZrO_2)量の多い材質が耐溶鋼性が優れていること、また、セラミックス部材の損耗量は、鋳造時間と溶鋼の含有マンガン量の積と線形関係をもつことを新たに見いだした。また、非定常の伝熱・応力解析から、鋳造初期に発生する熱衝撃による短辺堰のクラックは、大型の予熱ヒータで予熱することによって防止できることを確認した。
3. 実験機のプール内におけるラージェディシミュレーション(L. E. S.)による乱流の非定常数値計算および水モデル実験によって、流れの特性を把握し、流れの変動には、1.0~1.5Hzの振動と約10秒周期の振動が見られ、両者は、よく一致することを確認し、その原因は渦の中心がノズルより短辺堰方向に移動するような不均等な流れに起因することを明らかにした。
4. 鋳片の板厚を均等にするための要因分析を行った上で、試圧延結果から得たミル剛性、ロールの変形解析による熱変形量と実験結果との差から、操業中のロール間隔を推定するモデルを提案した。すなわち、ロール間隔一定制御にあたっては、ロール反力が一定範囲内になるようにロール速度を調整することによって、良好な形状の鋳片が得られることを述べている。
5. モールドロール表面肉盛材として用いているNCF625をベースとして、Al, TiおよびFeを調整した3種類の材料を溶製し、その物性値の測定、Manson-Coffin 式の適用によって、候補材を抽出し、熱疲労実験を行うことによって、長寿命

を有する材料の開発の指針を与えた。

以上のように、本研究はストリップキャスターの鋳片に影響を及ぼす装置技術課題に関して、解析的に特性を明らかにし、実験的検証を行うことによって、主要部材の改善方法を提案したものであって、学術的ならびに工業上への寄与が少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成13年2月19日、論文内容とこれに関連した試問の結果合格と認めた。