The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	旋回流付与型浸漬ノズルを用いた連続鋳造鋳型内流動制御に関する研究
Author(s)	塚口, 友一
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2583
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【20】

氏　　名	塚　口　友　一（つか　ぐち　ゆう　いち）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２４７９　号
学位授与年月日	平成20年９月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学　位　論　文　名	**旋回流付与型浸漬ノズルを用いた連続鋳造鋳型内流動制御に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教　授　田中　敏宏 （副査） 教　授　碓井　建夫　　教　授　安田　秀幸　　准教授　中里　英樹 福井工業大学工学部教授　原　　茂太

論　文　内　容　の　要　旨

本研究は、連続鋳造鋳型内へ溶鋼を供給する浸漬ノズルの内部に旋回流を付与することによって、鋳型内流動を適正に維持し、鋳造速度向上や鋳片表面品質改善を図ったものである。本研究では、捻り板状旋回羽根を内部に装着した浸漬ノズル（以下、旋回流付与型浸漬ノズル）を世界で初めて開発し、鋳型内流動制御の重要性が高いスラブの連続鋳造において浸漬ノズル内旋回流付与の効果を実証することを最終的な目的とした。本論文では、旋回流付与型浸漬ノズルの開発過程について順を追って記した。

第Ⅰ章においては、連続鋳造における鋳型内流動制御の重要性を述べ、従来の研究と対比して本研究の位置付けと目的について述べた。

第Ⅱ章の研究では、丸ビレット連続鋳造を模擬したウッドメタルを用いた実験によって、浸漬ノズル内旋回流が鋳型内流動に及ぼす影響を鋳型内電磁撹拌が形成する鋳型内回転流と併用した場合を含めて評価した。旋回流のみの場合には、遠心力によって広がろうとする流れを吐出孔内壁から剥離させないように同内壁の末広がり形状を設計することによって、鋳型壁に沿った上昇流形成条件を維持できることを明らかにし、丸ビレット連続鋳造用の旋回流付与型浸漬ノズルの設計指針を得ることができた。また電磁撹拌回転流との組み合せにおいては、浸漬ノズル内旋回流と逆回転方向の電磁撹拌を比較的低強度で印加した場合にのみ鋳型壁に沿った上昇流が生じることを見出した。

第Ⅲ章の研究では、第Ⅱ章に述べた研究で得られた指針に基づいて旋回流付与型浸漬ノズルを設計し、丸ビレット連続鋳造機における実機試験に供して、その耐久性や、鋳型内湯面温度の上昇および鋳片中心部の等軸晶増大に対する効果を実証した。また、電磁撹拌と組み合わせた場合に鋳型内湯面温度が上昇する条件が、第Ⅱ章における結果と同一の傾向を有することを明らかにした。

第Ⅳ章の研究では、浸漬ノズルあたりの溶鋼流量が丸ビレット連続鋳造に比べて１桁程度大きなスラブの連続鋳造に対して旋回流付与型浸漬ノズルを適用するにあたり、浸漬ノズル内で消費するエネルギーを連続鋳造実機において利用可能なタンディッシュ-鋳型間の液面高低差（位置エネルギー）の範囲内に収めるための旋回流付与型浸漬ノズル設計について、水モデル実験結果を基に考察を行った。その結果、消費エネルギーの主体は旋回流付与に伴うエネルギーと吐出孔での損失であることを明らかにし、スラブの連続鋳造に適した旋回羽根と浸漬ノズル本体の形状および吐出孔面積を確定した。

第Ⅴ章の研究では、残された設計課題である吐出孔部の形状に関して、適正な流速の鋳型内流動を安定的に維持するという観点から検討し、スラブの連続鋳造用の旋回流付与型浸漬ノズル全体の仕様を確定する設計指針を得る

に至った。まず浸漬ノズル内旋回流の影響を受けて吐出流が水平方向に広がり、鋳型内流動が停滞することを防止するために、吐出孔の幅に関しては、浸漬ノズル内径の７割よりも小さく設計しなければならないことを明らかにした。次に吐出孔上下壁の形状に関して、鋳型内流動が安定して形成される吐出流角度（上下方向）には適正範囲が存在し、適正な吐出流角度を得るための形状を見出した。吐出流角度は下向きに大きすぎると鋳型内流動が停滞し、小さすぎると短辺反転循環流と吐出流が干渉して鋳型内流動が不安定となることや、旋回流付与型浸漬ノズルでは吐出流の上下方向への広がりを抑制できることが安定した鋳型内流動の維持に寄与していることを明らかにした。

第Ⅵ章の研究では、第Ⅴ章までに述べた知見を生かして設計した旋回流付与型浸漬ノズルを実機大水モデル実験に供し、旋回流付与による吐出流均一化や鋳型内流動安定化に対する効果を確認した。さらに、住友金属工業株式会社の和歌山製鉄所（現、株式会社住金鋼鉄和歌山）および鹿島製鉄所においてスラブの連続鋳造に旋回流付与型浸漬ノズルを適用する実機試験を行い、その鋳型内流動安定化および鋳片や鋼板コイルの表面品質改善に対する効果を明らかにして、浸漬ノズル内下降流に旋回を付与する効果を実証した。

第Ⅶ章では、以上の総括を行い、今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

鋼の連続鋳造プロセスにおいて、鋳型内流動の適正な制御は、鋳造速度向上や鋳片表面品質改善を達成し、高品質鋼の生産性向上を推進する上できわめて重大な課題である。本研究では、連続鋳造鋳型内へ溶鋼を供給する浸漬ノズル内部に旋回流を付与することによって鋳型内流動を適正に制御することを目的として、捻り板状旋回羽根を内装した浸漬ノズルを開発し、それを用いた際の鋳型内流動について詳細な検討を行っている。本論文はこれらの成果をまとめたもので、得られた結果は以下の通りである。

（１）丸ビレット連続鋳造を模擬したウッドメタルを用いた実験によって、浸漬ノズル内旋回流が鋳型内流動に及ぼす影響を鋳型内電磁撹拌が形成する鋳型内回転流と併用した場合を含めて評価している。旋回流のみの場合には、遠心力によって広がる傾向のある流れを吐出孔内壁から剥離させないように同内壁を末広がり形状にすることによって、鋳型壁に沿った上昇流形成を維持できることを明らかにし、丸ビレット連続鋳造用旋回流付与型浸漬ノズルの設計指針を得ている。また浸漬ノズル内旋回流と逆回転方向の電磁撹拌を低強度で印加した場合には鋳型壁に沿った上昇流が生じることを見出している。さらに、上で得られた指針に基づいて旋回流付与型浸漬ノズルを設計し、丸ビレット連続鋳造実用機試験に供して、その耐久性や、鋳型内湯面温度の上昇ならびに鋳片中心部の等軸晶増大に対する効果を実証している。

（２）溶鋼流量の大きなスラブの連続鋳造に対する旋回流付与型浸漬ノズルの設計指針を得るための検討を行っている。特に、連続鋳造実用機におけるタンディッシュと鋳型間の液面高低差に相当する位置エネルギーの範囲内に浸漬ノズル内で消費するエネルギーを収めるための浸漬ノズルの形状を水モデル実験結果を基にして検討している。その結果、エネルギー損失の主体は旋回流付与に伴うエネルギーと吐出孔における損失であることを明らかにし、スラブの連続鋳造に適した旋回羽根と浸漬ノズル本体の形状および吐出孔面積を確定している。

（３）適正な流速の鋳型内流動を安定に維持するための吐出孔部の形状に関する検討を行っている。吐出孔の幅に関しては、浸漬ノズル内旋回流の影響を受けて吐出流が水平方向に広がり、鋳型内流動が停滞することを防止するために、吐出孔幅を浸漬ノズル内径の 70%以下に設計しなければならないことを明らかにしている。吐出孔上下壁の形状に関しては、鋳型内流動が安定して形成される吐出流上下方向角度に適正範囲が存在し、下向きに過大な場合には鋳型内流動が停滞し、過小な場合には短辺反転循環流と吐出流が干渉して鋳型内流動が不安定となることを見出している。また適正な上下方向の角度を有した吐出孔を用いれば、旋回流付与型浸漬ノズルは吐出流の上下方向への広がりを抑制できる効果があるために安定した鋳型内流動を維持できることを明らかにしている。

（４）旋回流付与型浸漬ノズルを実用機と同じ大きさの鋳型容器を用いた水モデル実験に供し、旋回流付与による吐出流均一化や鋳型内流動安定化に対する効果を確認している。また、スラブの連続鋳造実用機に旋回流付与型浸漬ノズルを適用し、鋳型内流動の安定化ならびに鋳片や鋼板コイルの表面品質改善に対する効果を実証している。

以上のように、本論文は捻り板状旋回羽根を内部に装着した連続鋳造用旋回流付与型浸漬ノズルの開発ならびに同ノズル利用による鋳型内流動制御に関して新たな知見を多数含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。