直流型タンディッシュプラズマヒーターのNo.2 CCへの適用

迫間保弘*, 鹿嶋忠幸*, 新貝 元*

Application of DC Transferred Type Plasma Heater for Tundish in No.2-CC.

Yasuhiro Hazama, Tadayuki Kashima, and Motoshi Shinkai

Synopsis

DC transferred type plasma heater for tundish was introduced in No.2-CC at Chita Plant.

The plasma heater makes it possible to keep the molten steel temperature in tundish constant during cast and brings the benefits in decreasing nozzle clogging caused by low temperature and the loss in productivity caused by high temperature. The operation under reduced number of strands (4 strands operation → 2 strands operation), which improves the casting yield, can be applied even to the steel grades with low casting velocity, as the casting time can be prolonged with the plasma heater.

In order to avoid temperature segregation in tundish with the plasma heater, arrangement of the dam was optimized by using heat fluidization analysis, so that more than 60% of thermal efficiency is obtained in the plasma heater operation.

The running cost of the plasma heater is quite reasonable, because N_2 gas can be applied to most of the steel grades in No.2-CC and Cu electrode can be adopted in DC transferred type plasma heater.

1. 緒 言

連続 casting におけるタンディッシュ内溶鋼温度はFig.1に示すように取鍋を交換するたびに温度低下・上昇を繰り返す。特に casting 初期および取鍋末期、 casting 末期の温度低下は加熱機能を持たないCC設備では不可避免の問題である。

このような温度低下は鋼中非金属介在物の浮上分離能の低下や低熱によるノズル詰りなどの問題を生じさせ、

Fig. 1. Typical temperature transition in continuous casting.

1999年3月3日受付

* 大同特殊鋼（株）知多工場（Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.）

逆にこの温度低下領域を回避するため、取鍋内の溶鋼温度を高目に制御した場合は、中心偏析の悪化、ブレイクアウトなどの操業トラブル増加、エネルギー原単位の悪化や耐火物寿命の低下などの問題を引き起こす危険性が増大する。故に、連続 casting においては一定温度での casting が品質、操業、コストすべての点で望ましいことが一般に知られている。

一方、当社知多工場の第2連铸機では軸受鋼、バネ鋼などの中心偏析を抑制するために低速で長時間 casting する対象が多く、タンディッシュでの溶鋼加熱による確実な一定温度 casting 技術の開発が特に求められてきた。タンディッシュ内での溶鋼加熱装置にはプラズマ加熱方式と誘導加熱方式があるが、当社では操業面のハンドリング性に優れたプラズマ方式の溶鋼加熱装置を導入し、低熱トラブルの減少、少ストランド化(長時間 casting)による歩留り向上などの効果を発揮している。その設備概要・加熱能力実績について報告する。

2. タンディッシュ内溶鋼加熱装置

2.1 タンディッシュ内溶鋼加熱装置導入の経緯

Table 1 に No.2-CC の設備主仕様を示す。No.2-CC は垂直マシンの特徴を活かし軸受に代表される清浄度厳格鋼種を casting しているが、それらの鋼種は同時に中心偏析を抑制するため、低速・長時間 casting を必要とする。また、No.2-CC の特徴として、4ストランドで同一鋼種を casting する4ストランド1マシン操業 (Fig.2) と2ストランドずつ独立して2基の連铸機として異鋼種を casting する2ストラン

Table 1. Main specification of No.2-CC.

	No.2CC
Type	Vertical bloom caster
Capacity	57,000t/month
Number of strands	4
Bloom size	350mm ϕ
Machine length	25.3m
Machine height	43.5m
Ladle size	80t
Tundish size	20t
Casting velocity	0.65m/min
Typical Steel grade	Bearing steel Spring steel Stainless steel
Electro-magnetic stirrer	Mould and strand
Secondary cooling	Air-mist spray
Tundish heating device	Plasma heater(max.1,200kw)
Soft reduction device	2 Reduction rolls
Automatic device	Automatic casting start system

Fig. 2. Schematic illustration of 4strands-1machine operation.

Fig. 3. Schematic illustration of 2strands-2machines operation.

ド2マシン操業 (Fig.3) の2パターンの操業が可能である。2ストランド2マシン操業は、歩留り向上・小ロット対応の長所を持っているものの、 casting 時間が2倍に延長するため温度低下の影響を受け易くなる。そこで低熱トラブルを防止するために、精錬工程において余分に昇熱を実施することとなりエネルギーコストの上昇、取鍋耐火物コストの上昇などの問題があった。このような問題を解決するために、 casting 中での温度補償が可能となるタンディッシュ内溶鋼加熱装置を導入した。

2.2 タンディッシュ加熱装置の特徴

タンディッシュ内の溶鋼を加熱する方法には、大きく分類すると誘導加熱方式とプラズマ加熱方式がある。誘導加熱方式は、誘導電流によるジュール熱で溶鋼を直接加熱するため加熱効率が高いという長所があるものの、タンディッシュへコイルを設置するためタンディッシュ構造が複雑化し、施工工数が増加するという問題がある。更に既設連铸機へ追加設置をする場合は改造規模が膨大になることから、今回のNo.2-CCへの加熱装置導入においては、プラズマ方式を基本に検討を行った。

プラズマ方式は電流の流れ方によりトランスファータイプ (移行型) ・ノントランスファータイプ (非移行型)、直流式・交流式といった多種多様な方式があり、各社で導入・テストが実施されている²⁾。No.2-CCへの導入に際し主なプラズマ加熱方式の比較を実施した (Fig.4)。交流タイプはタンディッシュ側での電極は不要であるが複数のトーチが必要であり既存のNo.2-CCへの設置は困難と考えられた。また直流熱陰極タイプはトーチが負に、

	AC	DC(Heat Cathode)	DC(Cold Cathode)
Torch Structure			
Electrode Material	W	W	Cu
Running Cost	<ul style="list-style-type: none"> • Plasma arc attack to the chamber • Ar can be used 	<ul style="list-style-type: none"> • Short life and expensive W electrode • Much heat radiation to the chamber • Ar can be used 	<ul style="list-style-type: none"> • Long life and Cu electrode (cheaper than W) • Direct heat radiation to the molten steel • Ar and N₂ can be used

Fig. 4. Comparison of various plasma torches.

溶鋼が正に帯電するため、溶鋼側での電圧降下が大きくトーチでのエネルギーロスが少ないメリットがある反面、輻射熱が大きく大きな加熱室が必要となる。

一方、直流冷陰極型はトーチ側が正、溶鋼側が負に帯電するため、トーチ側での電圧降下が大きくエネルギー効率は他方式より若干劣るが、アークが電極内部より発生し大量の作動ガスがアークのまわりに存在するため輻射熱が少なく、溶鋼への直接着熱が主体となるので大規模な加熱室が不要である。

また、交流型および直流熱陰極型は一般にArガス・W電極を使用するためランニングコストが高くなる傾向があるが、直流冷陰極型はN₂ガス・Cu電極が使用可能でありランニングコストを低く抑制できる。

以上の各方式の特徴とNo.2-CCの設備制約を比較検討した結果、既存設備との干渉が最も少なくランニングコストが安価な直流冷陰極型タンディッシュ加熱装置を導入することとした。

2. 3 設備仕様

タンディッシュ加熱装置の設備仕様をTable 2に示す。

2ストランド2マシン操業に対応させるべく2電源2トーチを装備し、独立して稼働できる設備とした。

今回導入したプラズマ加熱装置の設置状況をFig.5、トーチ先端部の構造をFig.6に示す。その特徴は、プラズマガスを旋回流とすることでガスによるアークのピンチ効果を強化しアーク柱を安定させている点、ガス供給

Fig. 5. Appearance of plasma heating equipment in No.-2CC.

Fig. 6. Schematic illustration of plasma torch.

量を周期的に増減することでトーチ内電極の発弧点を常時移動させ、電極の長寿命化を図っている点である。

2. 4 熱流動解析

プラズマ加熱における伝熱は、プラズマによる直接伝熱と加熱室からの輻射伝熱がある。そのため、プラズマ加熱時のタンディッシュ内溶鋼の偏熱を防止し、高い着熱効率を得るためには、タンディッシュ内溶鋼流れの最適化や加熱室設置などの改善を行う必要がある。またNo 2-CCへの導入においては、既存設備との干渉からプラズマ加熱装置の火点がタンディッシュの中心から約200mm

Table 2. Main specification of plasma heating equipment.

Type	Transfer Type DC Plasma Heater
Supplier	PEC(Plasma Energy Corporation,U.S.A.)
Gas	N ₂ ,CAr
Power	N ₂ :~1200Kw,Ar:~1200Kw
Current	N ₂ :Max1750A,Ar:MAX3500A
GAS Flow	1600-1800l/min
Torch Size	151mm φ × 1871mm
Electrode Material	Cu

ずれるため、滝口を挟んだ両側のストランドで温度差が生じることも懸念された。これらの課題に対して事前にタンディッシュ内熱流動解析を行い、タンディッシュ内溶鋼の偏熱発生の可能性を検証した。Fig.7に解析結果を示す。

Fig. 7. Dam arrangement in tundish and temperature distribution.

従来のタンディッシュ使用の場合は、懸念された滝口を挟んだ左右ストランドの温度差はあまりないものの、プラズマ加熱により滝口部が特に高温となっており、スラグライン部の耐火物溶損や着熱効率低下が予想された。そこで、溶鋼流れを改善して偏熱を防止すべく各種の堰モデルで同様の解析を行った。結果、滝口部下部に新たに2個の堰を設ければ偏熱が改善できる可能性を見出し、実機におけるタンディッシュの堰構造に反映させた。

3. 操業実績

3. 1 加熱能力評価

プラズマ加熱装置使用時の偏熱状況を調査するため、連続测温装置をタンディッシュ内の4ヶ所に設置し、おのおのの温度差を調査した。また、滝口部の温度はバッチ式の测温を行い調査した。調査結果をFig.8に示す。滝口部の温度はストランド側対比10～15℃程度高いが、ヒーター未実施時でも常時10℃程度は高いことからヒーターによる偏熱助長はあまりないと判断できる。左右のストランドの温度差についても最大で10℃でありヒーター未実施時と差は認められず、熱流動解析と一致する結果が得られた。

次に、先に示したタンディッシュ内の温度推移より着熱効率を計算した。通常操業の場合の温度推移は、ほぼ直線的に低下することから、その近似直線より上部のハ

Fig. 8. Temperature transition in tundish with plasma heating (4 strands operation).

ッチング部がプラズマ加熱装置による昇熱効果と考えた。ハッチング部より計算した溶鋼への着熱効率率は62%であり、設計時の着熱効率=60%を満足する結果が得られた。

また、プラズマ加熱装置使用時の熱バランスをFig.9

Fig. 9. Heat balance of plasma heating.

に示す。現在の操業条件では溶鋼への着熱効率率は60%以上を確保しており、その他のロス分は冷却水やガス持ち去り熱などの冷却媒体による抜熱が主体であることがわかる。

3. 2 プラズマガスのN₂使用拡大

プラズマ加熱は、プラズマ化するキャリアガスが必要である。プラズマガスは主としてAr、N₂ガスが一般に利用されているが、二原子分子であるN₂ガスは単原子状態への解離エネルギーが必要のため、同一電流の場合Arと比較してアーク電圧が高くなり投入熱量が大きくなることが知られている³⁾。従って、アークの安定性と[N]ピックアップが問題にならないならば、投入熱量のアップ、

コスト低減のためにN₂ガスを使用することが有効である。

当社は導入当初より高効率加熱・低コスト操作を目的に、Arに加えN₂・MIXガスでの操作を評価してきた。その結果、N₂ガス使用時のプラズマアークは十分に安定しており、溶鋼の[N]ピックアップもFig.10に示すごとく10ppm以下に抑制できることが確認できた。現在、極低N鋼を除くすべての鋼種でN₂ガスを使用しており、N₂

Fig. 10. Nitrogen pickup with plasma heating with N₂.

ガス使用比率は95%に達している。

3. 3 加熱操作による効果

プラズマ加熱装置を導入することにより、一定温度での casting が可能となり、低熱トラブルはほとんど解消された。また、精錬末の温度を約10℃低減することができたため、取鋼 casting 初期の高温異常も解消され、高温時のブレイクアウトを懸念した casting 速度ダウンが導入以前と比較して30%にまで低減した。

従来長時間 casting による温度低下のため2ストランド操作が不可能であった低速 casting 鋼種においても、Fig.11のごとくプラズマ加熱による温度補償により2ストランド casting で100分/heatの間ほぼ一定温度 casting が可能となり切捨ロス低減による歩留向上効果を得ている。

また、滝口部耐火物の寿命低下は特になく、直流冷陰極型の特徴である少輻射熱（アークまわりの旋回流ガスが輻射熱を抑制）が寄与しているものと推定される。

Fig. 11. Temperature transition in tundish with plasma heating (2 strands operation).

4. 結 言

当社知多工場No.2-CCにおいて、直流型冷陰極タンディッシュプラズマ加熱装置を導入した。

熱流動解析による堰配置の最適化を行った結果、滝口の高温度化やストランド間の偏熱問題もなく着熱効率60%で適用できることを確認した。

現在、実操業に適用し一定温度 casting を実現している。その結果、低熱トラブルの低減、少ストランド操業による歩留り向上、高温時の casting 速度ロス低減などの効果を発揮している。

直流型冷陰極プラズマ加熱装置の採用により、No.2-CC対象量の95%でN₂ガスが適用可能であり、Cu電極も現在100heat以上水漏れなく安定して使用できることから当初の狙いどおり低ランニングコストを実現している。

(文 献)

- 1) 脇田修至, 石沢孝司, 木下勝弘, 澤田健三, 篠田強志: 新日鉄技報, No.345(1992), 23
- 2) 朱宮 徹, 白石愛明, 人見康雄, 永幡 勉: 住友金属, 45(1993), 91
- 3) Manfred M. Wolf: Steel-making Conference, (1996), 1