

(論文)

ブルーム連铸における铸片品質の向上

福岡良雄*・辻 和寛*・高木 功*・藤本英明*・小南孝教*・藤井晃二**

*鉄鋼カンパニー・神戸製鉄所・製鉄製鋼部 **鉄鋼カンパニー・神戸製鉄所・設備部

Quality Improvements of steel in the Bloom Caster at Kobe Works

Yoshio Fukuzaki・Kazuhiro Tsuji・Isao Takagi・Hideaki Fujimoto・Takanori Kominami・Koji Fujii

A technique for the production of high quality steel for wire rod and bar was developed that satisfied the customer need for high quality bloom caster steel in the Kobe Works. Bloom caster reconstruction was carried out in July 1998 to meet customers strict requirements for high steel quality in recent years. Reconstruction also resulted in a production system that efficiently produced zero defect casts. By completing this reconstruction, ladle slag overflow to tundish is prevented. The surface quality of the bloom cast was improved by secondary soft cooling and other design developments.

まえがき = 神戸製鉄所のブルーム連铸機(以下、3CCと略す)では、1981年に稼働以来、高級条用特殊鋼製造技術の開発、設備や品質保証技術の改善により、順次、適用鋼種を拡大してきた。しかし、近年、いちじるしく高まっている素材に対するユーズの要求品質の厳格化に対応するためには、製鋼から圧延にいたる一連の製造工程で、欠陥の発生と流出の防止など品質面でより高度な対応をおこなうことが必要である。

そこで、製鋼段階での無欠陥铸片の製造体制の確立に向けて、1998年7月に3CCリフレッシュ工事¹⁾を実施した。本稿では、その工事概要と品質改善事例について報告する。

1. 3CC設備の概要

3CCでは、第1図に示すように溶銑予備処理での脱りん・脱硫、転炉での脱炭吹錬、溶鋼処理での脱ガス・アーク加熱・粉体吹き込みなどを機能的に分担させ、徹底した溶鋼の清浄化をおこない、铸造工程で適正かつ精密な铸造コントロールにより高品質化を図っている。3CCの設備概要と設備仕様を第2図に示す。

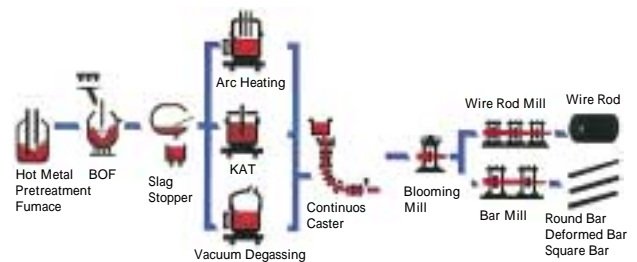
3CCは铸片サイズが300×430mmの大断面ブルーム連铸機であり、清浄化を目的としたタンディッシュ誘導加熱、铸片表面を均一冷却するための2次冷却帯および偏析改善のための強圧下設備を設置している。

また、第3図に示すように低合金鋼などの割れ感受性の高い特殊鋼を主体に铸造している。

2. 3CCの品質改善経緯と課題

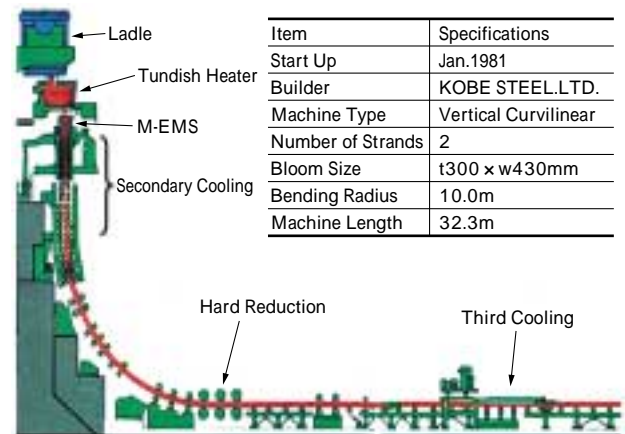
高級条用特殊鋼の連铸化を推進するにあたり、3CCでは第1表に示す種々の設備改造を実施して、介在物欠陥の防止、表面きずの低減や中心偏析の軽減などの品質改善を図ってきた。1980年代には、2次冷却のミスト化による铸片の均一冷却を図るとともに、タンディッシュの形状をT型に改造して介在物の浮上分離を促進した。

そして、稼働からこの間に溶鋼の清浄化および铸片品質の向上を目的とした技術開発を実施し、1991年には高速铸型振動・精密湯面制御による初期凝固の品質改善、ロールピッチ短縮による铸片バルジングの低減と高



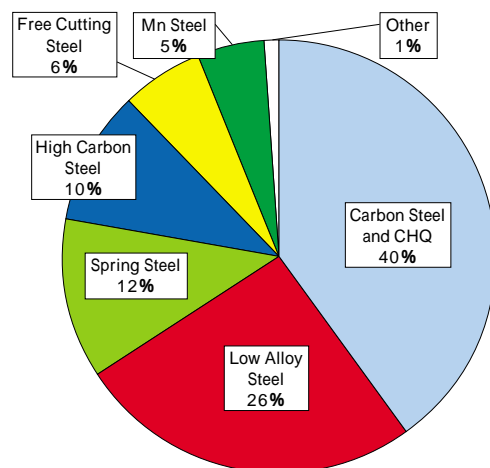
第1図 3CCの製造プロセスフロー

Fig. 1 Production process flow in the No.3 continuous caster



第2図 3CCの概要と設備仕様

Fig. 2 Outline and specification in the No.3 continuous caster



第3図 3CC材の鋼種構成

Fig. 3 Product mix in the No.3 continuous caster

第1表 3CCの設備改善経緯

Table 1 Construction history of equipment for improving quality in the No.3 continuous caster

'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98
<ul style="list-style-type: none"> ● Start Up <ul style="list-style-type: none"> ● Modification of Tundish (T type) <ul style="list-style-type: none"> ● Tundish Induction Heater ● High Cycle Mold Oscillation ● Precise Level Control in Mold ● Prediction System of Break-out ● Secondary Mist Cooling <ul style="list-style-type: none"> ● Reduction of Roll-pick ● Hard Reduction ● Third-cooling 																	

速铸造による铸片表面品質の改善をおこなうとともに、タンディッシュ誘導加熱による低酸素化技術の確立²⁾と強圧下設備の設置による中心偏析の改善³⁾を図ってきた。

3CC材で発生する欠陥には、取鍋スラグの流出による介在物欠陥、铸造時の不均一冷却に起因する表面欠陥などがあり、これまで種々の操業技術の改善をおこなってきたが、発生を完全に防止するにはいたっていない。

とくに表面欠陥は、割れ感受性の高い鋼種が多い3CC材において、発生する欠陥の大部分を占めている。

ここで、3CC材の表面欠陥の代表例とその発生状況を分類して写真1と第4図に示す。もっとも発生率が高い粒界割れは、主として2次冷却帯で発生しており、強冷却やノズル詰まりによる不均一冷却が要因となっている。次に発生率の高い面縦割れは、粒界割れと同様に2次冷却の不均一冷却要因とモールドパウダによる铸型内不均一冷却に起因している。また、コナ割れは深いオシレ・シオンマ・クにそって発生する。いっぽう、ブローホール欠陥は、ノズル閉塞防止のために溶鋼中に吹き込まれている不活性ガスが铸型内の凝固殻に捕捉されて表面きずとして残存したものである。

これらの表面欠陥を低減するためには、2次冷却帯などの設備改造による制御精度の向上を図るとともに、操業異常を検出して異常材の流出防止をおこなうことが必要である。

3. 3CC リフレッシュ工事

3.1 工事の目的と概要

3CC リフレッシュ工事で実施した主要な改善項目を第2表に示す。介在物欠陥に対しては、取鍋スラグ流出判定のばらつきを低減、铸片表面欠陥に対しては徹底した2次冷却の緩冷却化およびインサートガス流量制御をおこない、さらに緩冷却化により助長される内部割れ

第2表 3CC リフレッシュ工事の概要

Table 2 Summary of equipment reconstruction in the No.3 continuous caster

Improvement Item		Countermeasure	Equipment Reconstruction
Non-metallic Inclusions		Precise Judgment of Teeming Stop from Ladle	Development of Automatic Detecting System of Ladle Slag
Surface Defect	Blow Hole	Flow Control of Insert Gas in Unstable Region	Automatic Control of Inserting Gas Flow Rate
	Crack	Decrease of Secondary Cooling Prevention of Mist Nozzle Clogging	Reconstruction of Secondary Cooling Zone
	Press Mark	Prevention of Roll Rotation Trouble	Modification of Roll Lubricating Oil
Internal Crack		Prevention of Buldging	Decrease of Roll Gap Expansion by Using Roll Cooling

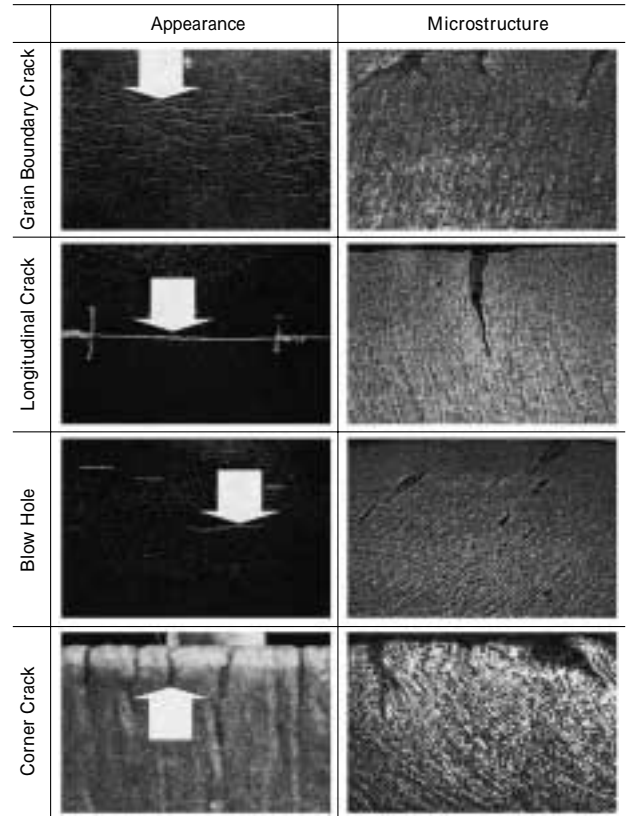
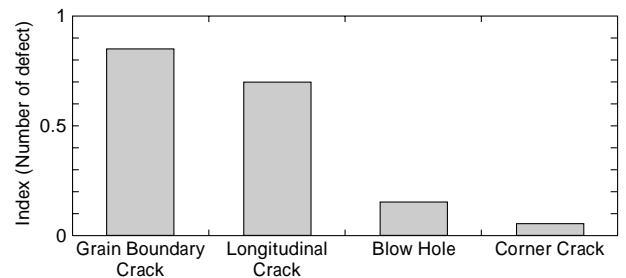


写真1 代表的な表面欠陥写真

Photo 1 Examples of typical surface defect



第4図 表面欠陥の発生状況

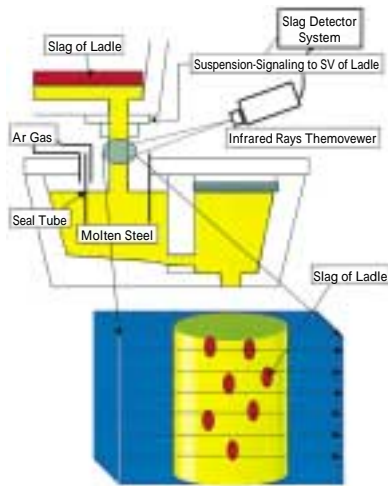
Fig. 4 Occurrence of surface defects

を防止するために口・ル冷却の強化による口・ルの摩耗低減策を実施した。また、铸造時の铸型内監視を集約することで操業異常の監視強化を図った。

以下に、代表的な改善項目として、スラグ検知システムの開発、2次冷却帯の改造および口・ル冷却の強化策とこれらによる改善事例について報告する。

3.2 スラグ検知システムの開発

従来、3CCの取鍋終点判定はオペレータによる目視



第5図 取鍋スラグ検知システムの概要
Fig. 5 Schematic diagram of ladle slag detecting system

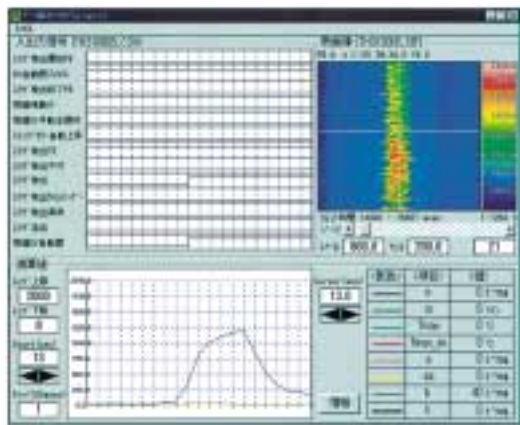


写真2 取鍋スラグ検知システムの画面
Photo 2 Monitor example of ladle slag detecting system

でおこなってきたが、スラグ起因の介在物欠陥を撲滅するためには、取鍋終点判定時のスラグ流出量を極限にまで少なくすることが重要である。取鍋スラグ流出のばらつき防止と流出量低減のために、スラグ検知システムを独自に開発した。本システムは、スラグと溶鋼の輝度差からスラグを検出する非接触の赤外線方式であるため、保守点検コストが低く、安定稼働が可能である。

スラグ検知の概要を第5図に示す。スラグ検知視野を注入流の4~5倍に大きくして、測定時の注入流のずれを許容できる範囲に設定している。そして、数msごとに水平走査線内のスラグ画素個数をカウントし、その個数がしきい値を越えた場合にスラグ流出と判定している。赤外線スラグ検知システムの画面と画像例を写真2、写真3に示す。画面では流出スラグの積算量と注入流の画像を表示しており、画像上でスラグは赤色で色別できることから、取鍋終了時のスラグ流出状況の監視と流出量の管理をおこなうことができる。

また、スラグの流出判定については、従来は取鍋終了末期に連続的にスラグが流出したときにオペレータがスラグ流出判定をおこなっていたが、本システムでは微量のスラグ流出でも判定ができるようになっている。さらに、鋼種グレードに対応したしきい値の設定により、オペレータと同等以上の判定が可能となるばかりでなく、スラグ流出異常による品質トラブルが撲滅できるなど、大きな効果が期待できる。

3.3 2次冷却帯の改造

3CCでは、低合金鋼など割れ感受性の高い鋼種の鑄造に対して、曲げおよび矯正点を脆化温度域以上の高温で通過させるため、高速鑄造と2次冷却の緩冷却化を図っている。しかし、従来は冷却ゾーンの分割構成が粗かったために、各ゾーン内のノズルのヘッド差が大きくなり、上流側の水量を確保すると下流側の流量が大きくなるなど最低流量に限界が生じていた。このため、内部割れ防止の観点から徹底した緩冷却化ができず、熱応力による粒界割れが発生していた。

そこで、今回のリフレッシュ工事では、第6図に示

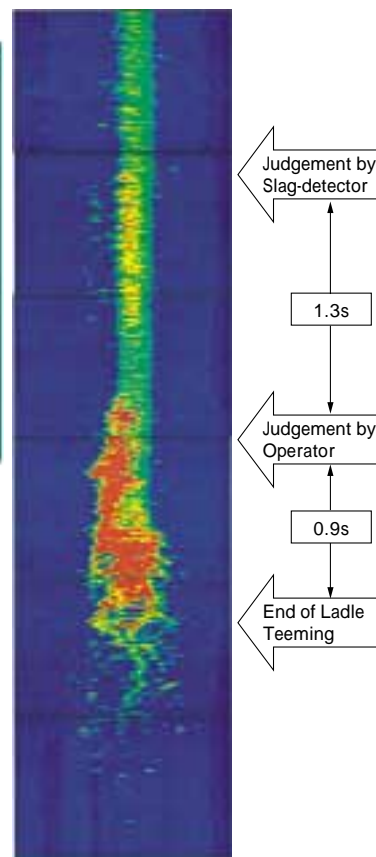
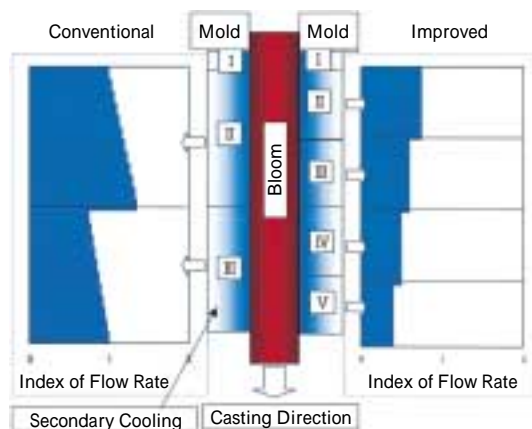


写真3 取鍋スラグの検知例
Photo 3 Example of ladle slag detecting



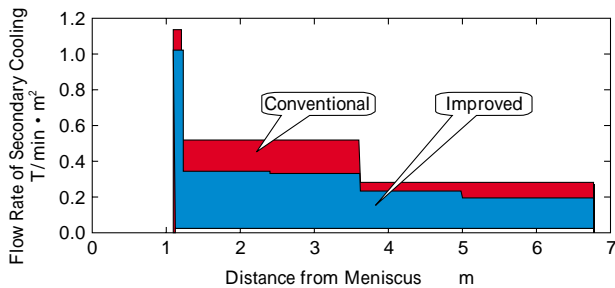
第6図 2次冷却帯の細分化
Fig. 6 Outline of narrow divided zone of secondary cooling

すように、2次冷却帯を従来の3ゾーンから5ゾーンに細分化することで各ゾーン内の冷却水量を均一化させて、さらなる低比水量化を図った。

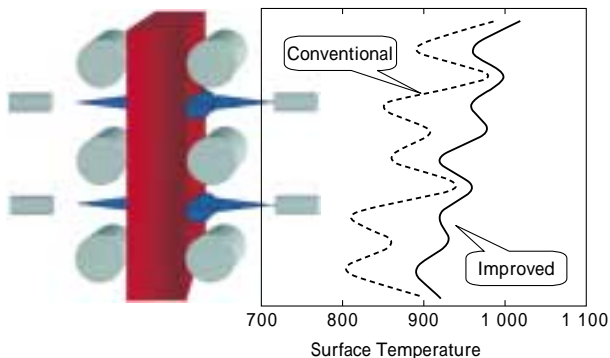
本工事により、冷却帯を細分化することでヘッド差の影響が緩和できるため、各ゾーンの流量を適正値までミニマム化することが可能となっている。2次冷却帯における緩冷却化の一例を第7図に示すように、改造後は比水量を15~25%低減させている。この緩冷却化により、第8図に示す鑄片表面温度は、ノズル噴出部の直接冷却部とノズル間の間接冷却部との熱振幅差が小さくなっており、第9図で示すように、緩冷却化により比水量を低減するにしたがって、表面きずは大幅に低減されることがわかる。

3.4 ロール冷却の強化

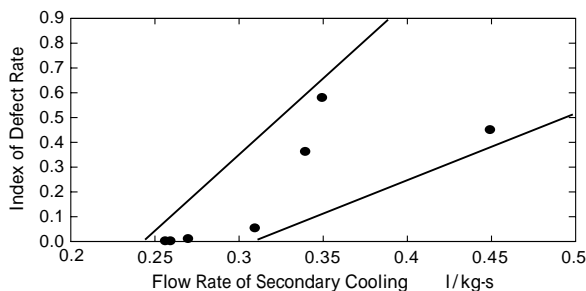
2次冷却の緩冷却化により鑄片表面きずは改善される



第7図 2次冷却帯における緩冷却パターン例
Fig. 7 Example of soft cooling pattern at secondary cooling zone



第8図 緩冷却化による鋳片表面温度の変化
Fig. 8 Change of surface temperature with soft cooling of secondary cooling

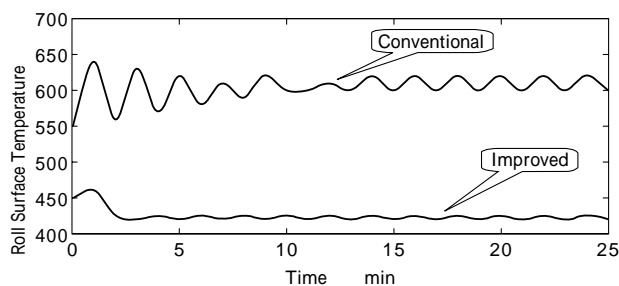


第9図 2次冷却の緩冷却化と不良率の関係
Fig. 9 Relationship between soft cooling of secondary cooling and surface defect

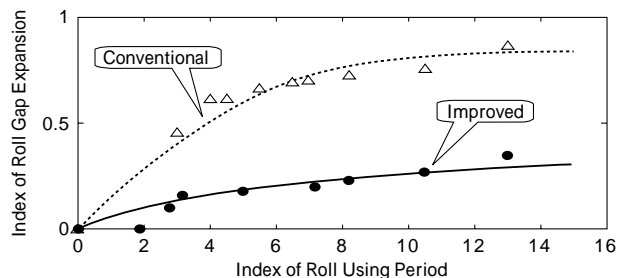
が、その反面、凝固シェル強度が低下する結果、鋳片バルジングが助長され、内部割れが発生する懸念が増大する。内部割れ防止の基本条件として、ロールアライメントの管理が重要となるため、とくに、ロール摩耗によるロール面間の広がり防止を必要とする。

ここで、ロールは常に鋳片による加熱を受けており、ロール表面温度が高温に保持されるとロール摩耗が進行するため、ロール冷却の強化が有効である。ロール冷却の強化によるロール表面温度は、冷却前にくらべて約200程度低下している。また、鋳片を所定時間停止する異鋼種連々鋳時は、鋳片と接しているロール面の温度は局部的に上昇して、ロールへの負荷が大きくなる。

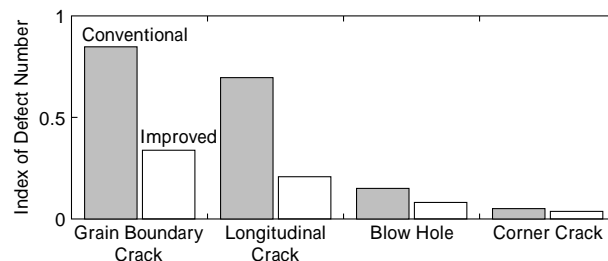
しかし、第10図に示すようにロール冷却の強化により、短時間で定常温度に冷却されることがわかる。この結果、第11図に示すように、ロール冷却を実施していない場合はロール面間の広がりが顕著であったが、ロール冷却を強化するとによりロール面間の広がり量を大幅に低減しており、2次冷却の緩冷却下でも内部割れ発生を防止できている。



第10図 ロール冷却の強化によるロール表面温度の変化
Fig. 10 Change of roll surface temperature by the increase of roll cooling



第11図 ロール冷却の強化によるロール面間の広がり低減例
Fig. 11 Example of decreasing the roll gap expansion by roll cooling



第12図 表面欠陥の改善
Fig. 12 Improvement of surface defects

4. 品質改善効果

今回の3CCリフレッシュ工事による改善効果例を第12図に示す。表面欠陥の発生指数で比較すると、2次冷却起因でもっとも発生率の高かった粒界割れで60%、次に発生率の高い面縦割れで70%低減することが可能となった。

むすび = 神戸製鉄所におけるブルム鋳片品質のさらなる品質の向上を目的に3号連鋳リフレッシュ工事を実施し、取鍋スラグ起因の介在物欠陥の撲滅、表面欠陥の低減などの品質改善を推進した。とくに2次冷却の緩冷却化により表面欠陥発生は大幅に改善された。今後、さらなる表面品質の改善をおこなうために、小ロット化により増加している非正常部の品質改善を図っていく予定である。また、鋳造段階の操業条件から鋼片の品質評価をおこなうシステムを構築していく所存である。

参考文献

- 1) 辻 和寛ほか：CAMP-ISIJ, Vol.12 (1999), P.784.
- 2) Y. Fukuzaki et al. : Steelmaking Conference Proceedings Vol.75 (1992), p.397.
- 3) 高木 功ほか：CAMP-ISIJ, Vol.7 (1994), p.183.