

© 1988 ISIJ

技術報告

日新呉第2連铸設備における熱間直送圧延
プロセス

野口 計*・品川裕明*・俵 正憲*・山上哲也*

Direct Hot Charging Process at Kure No. 2 Continuous Caster,
Nisshin Steel Co., Ltd.

Kei NOGUCHI, Hiroaki SHINAGAWA, Masanori TAWARA and Tetsuya YAMAGAMI

Synopsis :

Kure No. 2 Continuous Casting Plant, which was designed to connect steelmaking plant and hot rolling mill directly, has started its operation in July 1982.

Since the start up, the hot charging ratio has been increased under several technical developments. Since 1986, the hot charging ratio has been kept over 70%. The present monthly production is 210 000 t.

In this paper, the operation of No. 2 CC and techniques developed for increasing the hot charging ratio are introduced. Main items of the developments are as follows,

- 1) Technical development for defect free slabs
- 2) Technical development for increasing slab temperature

Key words: continuous casting ; hot charging ; defect free slab ; free opening ; no conditioned slab ; mold level control ; mist cooling ; deburring.

1. 緒 言

呉製鉄所第2連铸機(以下2CC)は、呉製鉄所における最新鋭工場である2製鋼工場(以下2SK)及び2熱延工場(以下2HOT)とをその隣接した立地条件を利用して直結化することにより、2SK・2HOTの能力を最大限発揮させることを目的として建設され、昭和57年7月より稼動した。2CC稼動後、操業成績は順調で、昭和62年現在、生産管理部門・設備部門との協力により、製鉄～製鋼～圧延の直結化体制をほぼ確立し、生産量21万t/月、熱片比率70%の操業を行っている。

以下にその概要を述べるとともに、熱片直送化を支える連铸技術の改善について報告する。

2. 設 備 概 要

2.1 レイアウト

Fig. 1に2SK・2CC・2HOTのレイアウトを示す。2CCは、将来ダイレクトローリング(以下HDRと称す)が可能となるよう既設の2SK、2HOTの配置を考慮して、ストランドセンターが2HOTのHDR用搬送テ-

ブルラインに合致するよう設置した。この結果、転炉から2CCまでは約150m、2CC機端から2HOT加熱炉入側まで約90mというきわめて短距離のレイアウトを得ることができた¹⁾。

鑄片の搬送は、第2ストランドをトランスファー台車により第1ストランドに集約した後に、バリ取り、秤量、マーキングを自動で行う。さらに、ターンテーブルで方向を変更して、一部はそのまま加熱炉に装入し(以下この工程によるものをDHCRと称す)、また他の一部は高架台車でスラブヤードに払出し、いつたん山積み滞貨した後温片で加熱炉に装入する(以下HCRと称す)。この他、スラブヤードにて常温まで冷却された後装入されるものをCCRと称する。鑄片切断完了から加熱炉装入までの時間はDHCR材で約10min、HCR材で平均約20hとなつている。

2.2 設備仕様

Table 1に2CCの主な設備仕様を示す。設計にあたっては特に次の3点に留意した。

- i) 2SK転炉の溶鋼を全量連铸化すること。
- ii) 鑄片を全量無手入れ化すること。

昭和62年11月12日受付 (Received Nov. 12, 1987)

* 日新製鋼(株)呉製鉄所 (Kure Works, Nisshin Steel Co., Ltd., 11-1 Showa-cho Kure 737)

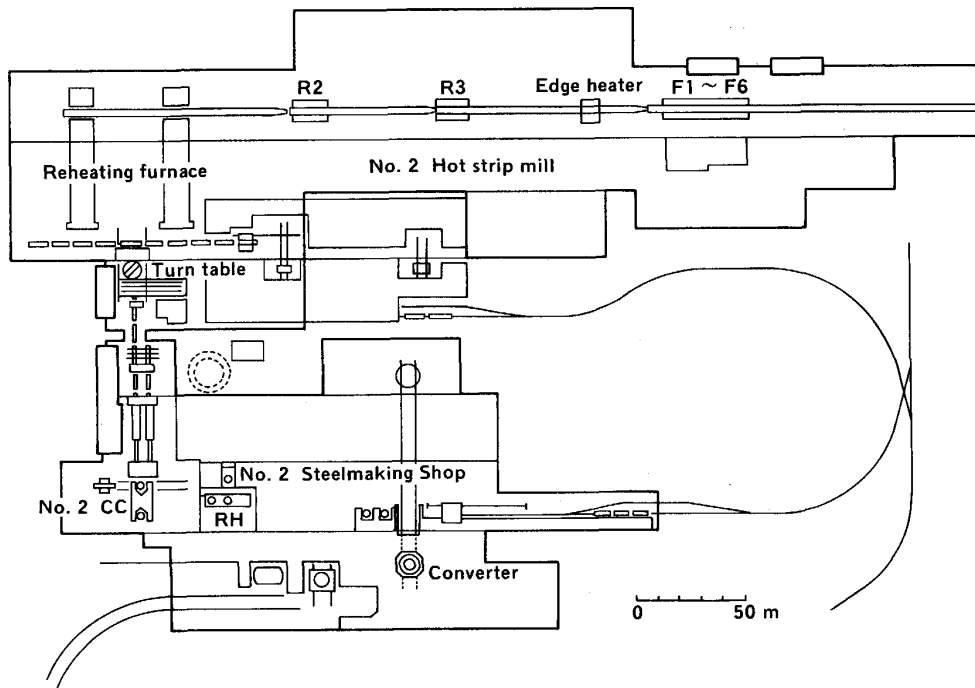


Fig. 1. Layout of No. 2 Steelmaking shop and No. 2 Hot strip mill.

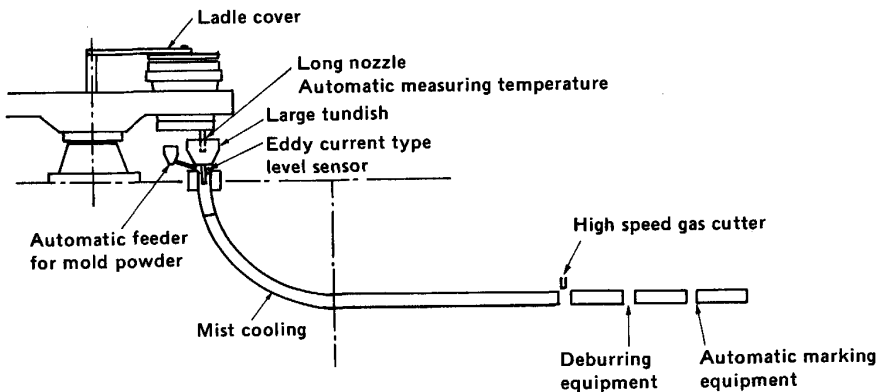


Fig. 2. Technologies supporting No. 2 CC.

Table 1. Specification of No. 2 CC.

Item	Specification
BOF	185 t/heat (1/1 Base, Vessel exchangeable type)
Type of caster	Bending type with 4 unbending
Number of strands	2
Dimensions of slab	Thickness 250 mm Width 800~1 325 mm Length 5 000~9 300 mm
Machine length	36.4 m
Casting radius	10.5~12.7~18.5~34.5 m
Distance of strand	5 600 mm

iii) 高温出片ができること。

2 CC の機長は、転炉の能力をフルに吸収することを目的として、36.4 m (将来 40 m まで延長可能) とした。

また、無欠陥鋳片製造のため設備設計上、次の6点について考慮した。

- i) 全量 RH 処理を志向すること。
- ii) タンディッシュ容量を大型化すること。
- iii) 鋳片厚を大きくすること。
- iv) 取鍋～タンディッシュ～モールドと徹底した断気鋳造を行うこと。
- v) 鋳型内湯面レベルの制御精度を向上すること。
- vi) 鋳片の冷却条件に自由度を持たせること。

RH 脱ガスについては、高品質鋳片製造のため連鋳材を全量処理することを基本とした。タンディッシュ容量は 65 t と取鍋容量 185 t に対して約 1/3 と大型化を図った。これにより、取鍋交換時においても鋳造速度を低下させることなく、取鍋交換時間 3 min で溶鋼量 45 t (溶鋼深さ 1 m) の確保が可能である。また、鋳片については、厚い方が浸漬ノズルの寿命が向上し、かつ生産

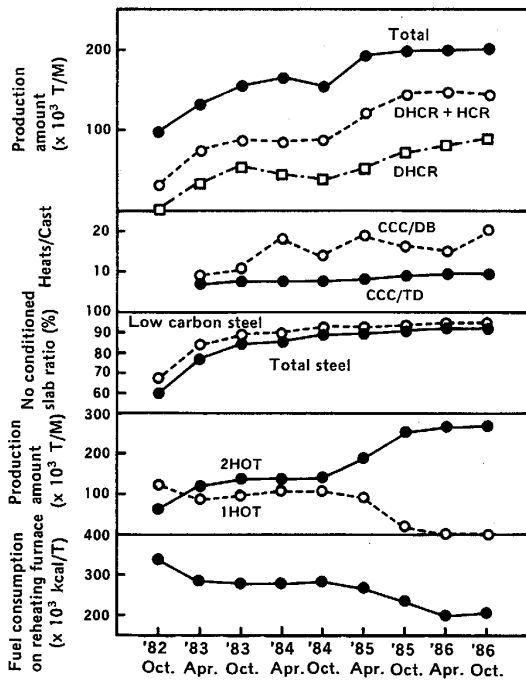


Fig. 3. Operation performance.

性の面から有利であることから、2 HOT の条件が許す範囲で厚くすることとし、250 mm とした。このことは、熱片直送における鑄片の顕熱確保の面からも有利である。

そのほか、高品質・高能率化のために種々の対策を講じているが、その概要を Fig. 2 に要約した。

鑄片精整設備は、スカーフ式バリ取り装置をオンラインに設置したほかは極力簡素化し、ホットスカーファー・スラブクーラーは排除し、オフラインの手入れ設備も4万 t/月の小規模なものとした。

3. 操業概要

Fig. 3 に2 CC 稼働後の操業推移を示す。生産量は、昭和61年に20万 t/月に達し、熱片比率でも70%を越えている。また、鑄片の無手入れ率は、低炭素鋼で約95%、全鋼種合計で90%以上の高い水準に達した。

熱延工場は、昭和60年より1, 2 HOT 体制から、2 HOT への集中化を進め昭和61年には2 HOT のみの生産体制となっている。これにより、熱延工程における加熱炉重油原単位は、昭和61年には昭和57年下期の約60%にまで削減することができた。

4. 連鑄技術の改善

4.1 無欠陥鑄片製造技術

鑄片を無手入れ直送化する上で、スカム・ピンホール

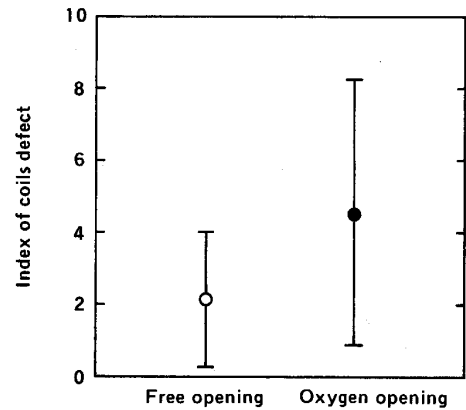


Fig. 4. Effect of free opening of ladle nozzle.

及び表面割れ等の鑄片表面欠陥は大きな障害になる。これらの欠陥の防止は精錬部門でいかに清浄性の高い溶鋼を溶製し、かつ鑄造部門でいかにその性状を劣化させずに維持できるかにかかっている。本報では連鑄以降の技術について述べるが、連鑄工程では大気酸化・スラグ巻込み等による溶鋼再酸化の防止及び鑄型内メニスカス部における初期凝固の安定化を図ることが必須条件となる。

4.1.1 取鍋自然開孔技術

連鑄における溶鋼の再酸化防止は取鍋～タンディッシュ間から始まるが、このとき取鍋ノズルの自然開孔技術が重要となる。取鍋～タンディッシュ間の溶鋼の大気酸化を防止するために取鍋下部ノズルにロングノズルを装着して注入開始するが、取鍋ノズルから溶鋼が自然に流出しない場合、いつたんロングノズルを取り外し取鍋ノズルを酸素で洗浄して強制的に溶鋼を流出させる必要がある。この時溶鋼が再酸化され、さらにタンディッシュ内のスラグが注入流で溶鋼中にたたままれることにより、溶鋼の清浄性が大きく劣化する。Fig. 4 に取鍋自然開孔時と酸素開孔時のコイル表面疵指数を比較する。明らかに酸素開孔材は自然開孔材にくらべて品質的に劣っており、取鍋自然開孔技術は無欠陥鑄片を製造する上で重要な技術のひとつであることがわかる。

このため、2 CC では取鍋自然開孔技術の改善に取り組み、昭和61年2月には連続自然開孔10224回の記録を達成し、かつ平均99.97%の高い自然開孔率で安定した操業を行っている。以下に主な改善内容について述べる。

取鍋自然開孔は取鍋ノズル詰め物のノズル内での焼結状態とノズル形状に伴う詰め物の流出の難易性によつて決まる。しかし、特に前者においては受鋼直前の詰め物の充填状態及び受鋼中の詰め物の挙動を把握し難いとい

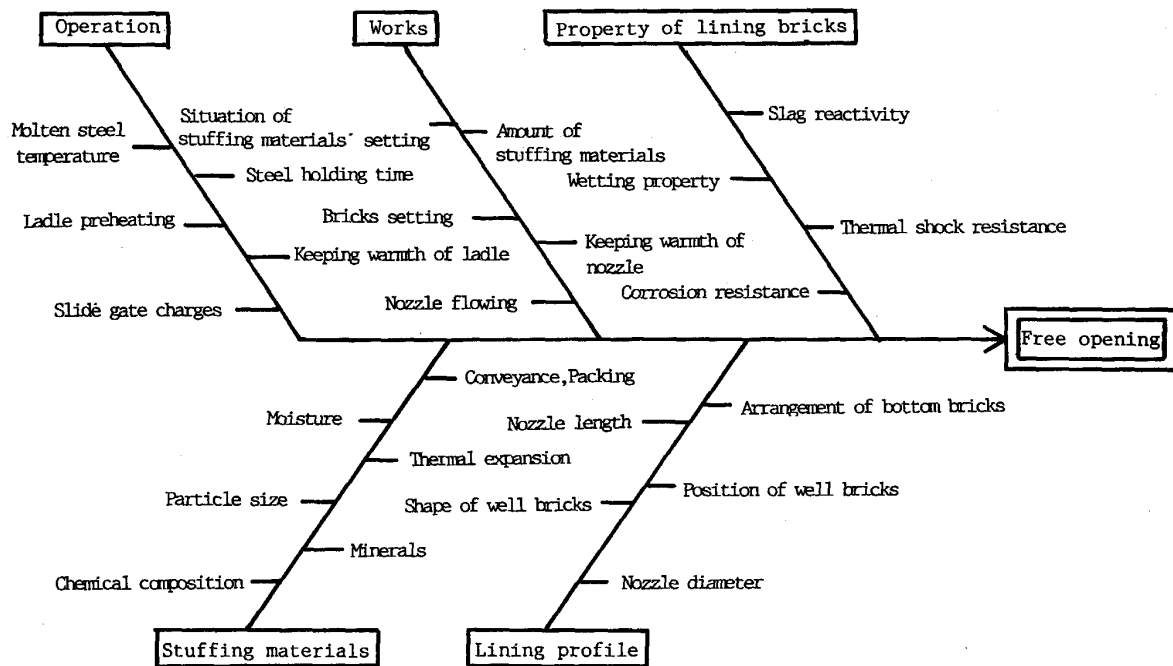


Fig. 5. Relationship between free opening and several factors.

Table 2. Properties of stuffing materials for actual operation test.

Sample	A	B	C
Chemical composition (%)			
SiO ₂	95.1	89.7	94.2
Al ₂ O ₃	2.6	4.6	3.4
R ₂ O	1.2	2.8	2.1
Grain size (%)			
>2 mm	0	0	0.3
2~1	42.2	23.3	49.0
1~0.5	57.6	76.2	50.4
0.5<	0.2	0.5	0.3
Thermal expansion (%) at 1500°C×3 h	10	3	20
Sinterability at 1400°C×2 h	S3	S5	S4

Table 3. Results of actual operation test.

Sample	A	B	C
Numbers of test (heats)	222	312	360
Numbers of ladle	3	4	5
Rete of free opening (%)	99.6	99.3	100
Numbers of oxygen opening (heats)	1	2	0
Lapsed time (%)			
Free opening			
< 5 s	64.4	13.5	77.2
6~10 s	9.5	22.8	17.5
11~30 s	18.5	37.8	4.4
31~60 s	6.3	23.7	0.9
>61 s	0.9	1.5	0.0
Oxygen opening			
>61 s	0.4	0.7	0.0

う問題があり定量的な標準化が困難であつた。このため、Fig. 5 に示すような自然開孔特性に及ぼす作業・技術上

の要因を整理し、この特性要因図に沿つた改善を進めてきた。この結果特に効果が大きかつたものは、(1)詰め物材質の改善(2)ノズル形状の改善(3)各種作業改善に要約できる。

(1)詰め物材質の改善

ノズル内径を考慮して比較的熱膨張性の大きい珪砂を主体とし、粒度・アルカリ量(R₂O量)を調整して焼結性の適正化を図り、かつ水分を含めた品質のばらつきの少ない材質を設計した。Table 2 に供試材の材質特性を、Table 3 にその実機テスト結果を示す。この結果にもとづき100%の自然開孔率が得られたサンプルCの詰め物を採用した。

(2)ノズル形状・材質の改善

Fig. 6 に改善前後の取鍋ノズル形状を示す。従来の上ノズルは升れんが内に装入するタイプであつたのに対し、改善した上ノズルは升れんが下面に圧着する方式とし、ノズルセット時に圧着面からはみ出したモルタルを容易に除去することが可能な構造とした。また、升れんがの材質を焼成ジルコン質から不焼成 MgO-C 質に変更し、れんが表層部の欠落防止及びスラグ付着性を改善した。これらによりノズル内の詰め物の流出性が大幅に向上した。

(3)各種作業改善

自然開孔性に及ぼす作業上の問題点を整理し、ノズル孔内の清掃の強化、ノズル上面における詰め物の散逸防止対策、特に新鍋におけるノズル内の予熱強化など細か

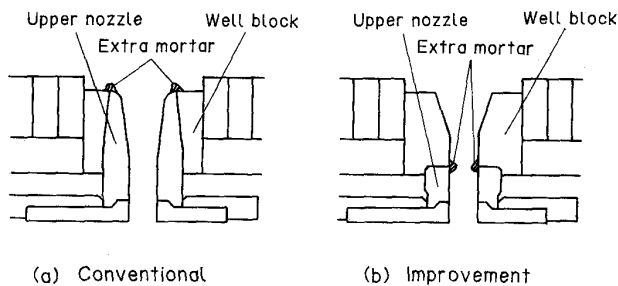


Fig. 6. Construction of ladle nozzle.

な作業の徹底を図った。

4.1.2 鑄型内湯面制御技術

鑄片の表面品質に最も大きな影響を及ぼすのは鑄型内の状況である。すなわち、溶鋼が凝固を開始するメニスカス部において湯面に変動が生じるとモールドパウダーが凝固シェルに捕捉されてスカム疵を生じ、またモールドパウダーの流入が不均一になると表面割れが発生する。

この鑄型内湯面制御のため、2CCにおいては応答性及び作業性を考慮して渦電流式の湯面センサーを採用しているが、鑄造中の幅変更に伴い湯面レベルが変化するという問題があった。これは、渦流式の湯面センサーの場合センサーを定位置に固定した状態では鑄造中に幅変更を行うとセンサーと短辺鑄型銅板との距離が変化して、センサーのインピーダンスに変化を生じ湯面レベルが変化するためである。このため、浸漬ノズルの寿命延長のため湯面レベルを変更しても鑄造中の幅変更によって再び湯面が変化するという悪循環があった。特に、湯面レベル変更時には表面縦割れの発生率が高く、表面品質の劣化の問題がある。

この問題を解決するため、鑄造中の幅変更によってもセンサーのインピーダンスを変化させぬよう、センサーと鑄型短辺とを連動駆動するような設備改善を行った。これにより、Fig. 7に示すように湯面レベルが急激に変化することを抑制し、鑄片表面品質の向上を図った。

4.1.3 鑄片無手入れ率向上

連鑄においては、連鑄の第一鑄片(以下B片)と最終鑄片(以下T片)は、タンディッシュ内及び鑄型内で溶鋼の再酸化が生じること、さらには鑄造速度の変更等非正常作業が入ることから表面品質が安定せず、表面手入れが必要となる場合が多い。このため、無手入れ率を向上させるためにはタンディッシュ当たりの連鑄チャージ数を増大させ、B片・T片の比率を減少させることが重要である。

Fig. 8に昭和60年上期と昭和62年9月の2CC低

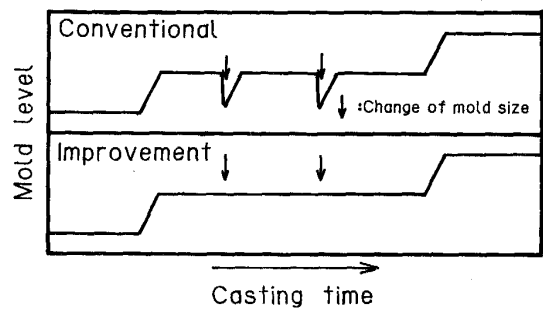


Fig. 7. Method of mold level changing.

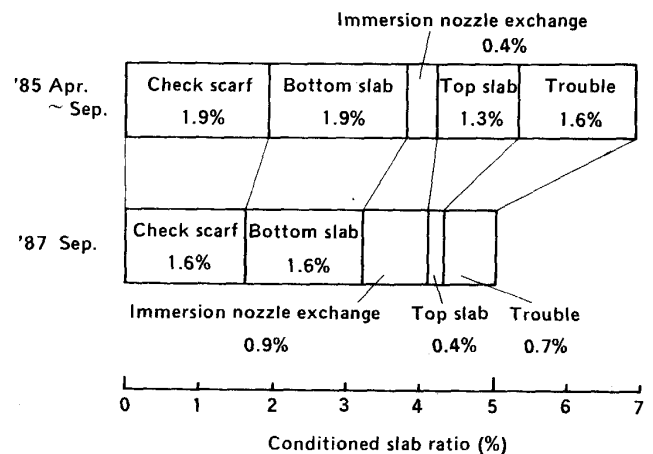


Fig. 8. Reasons of slab conditioning of low carbon steel.

炭素鋼における要手入れ材の要因内分けを示す。生産能力向上のための浸漬ノズル交換の増加による要手入れ材増はあるが、逆にタンディッシュ当たりの連鑄チャージ数が増加して、B片及びチェックスカーフ片(品質保証のため2本/タンディッシュ採取し表面品質を確認する。)の比率の減少でトータル要手入れ率は減少し、さらにT片の無手入れ化により大きく要手入れ率は減少した。また、前述した取鍋自然開孔技術、鑄型内湯面制御技術の向上及び操業、設備トラブルの減少の結果、低炭素鋼においては約95%、全鋼種合計においても90%以上の無手入れ率を確保している。

4.2 高温出片技術

鑄片の無手入れ直送化の効率を向上する上では加熱炉装入時の鑄片温度を上昇させることが重要である。このためには、鑄造速度の上昇、二次冷却の緩冷却化のほか、トラッキング時間の短縮、鑄片保温対策等の諸対策が重要である。

4.2.1 高速鑄造技術

高温出片を行うためには、鑄片の最終凝固位置を可能な限り連鑄機機端まで伸長させることが望ましい。この

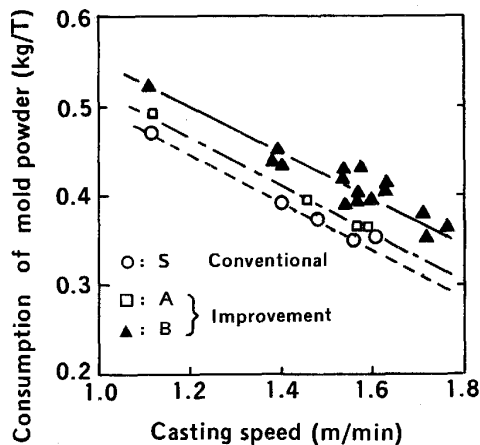


Fig. 9. Relationship between casting speed and consumption of mold powder.

意味においても、また生産性を向上させる意味においても、鑄造速度の上昇が重要である。しかし、鑄造速度を上昇させると例えば(1)の式²⁾に示すようにモールドパウダーの消費量が減少し、鑄片表面欠陥ひいてはブレイクアウト事故の増大を招くおそれがある³⁾。

$$Q = (k/V) \cos^{-1}(-V/2\pi \cdot a \cdot f) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 Q : モールドパウダー消費原単位 (kg/m^2)
 V : 鑄造速度 (mm/min) a : ストローク (mm) f : 鑄型振動数 (cpm) であり k : モールドパウダー物性にかかわる定数項である。鑄造速度、鑄型振動条件が一定であれば Q は k に律速される。よつて、2CCにおいては高速鑄造においてもある一定の消費原単位が確保できるモールドパウダーの開発を行つた。

Fig. 9 に鑄型振動条件一定の場合のモールドパウダー銘柄別の消費原単位の比較を示す。従来パウダーSにくらべ低粘性⁴⁾⁵⁾のみを図つたパウダーAでは約5%消費原単位が増加し、低粘性化・低熔融温度を図つたパウダーBでは約15%消費原単位が増加した。この結果より、従来パウダーSに代えてパウダーBを使用し、従来 max 1.6 m/min であつた鑄造速度を max 1.8 m/min まで上昇させることができた。

4.2.2 緩冷却技術

鑄片における完全凝固位置を連铸機機端まで伸長させ鑄片温度を上昇させる方法として、鑄造速度の上昇のほかに2次冷却の緩冷却化がある。しかし、従来のスプレー冷却方式で極端に水量を減少させると正常なスプレー状態を維持できず品質上の問題を発生させる原因となる。この問題を解決するため近年ミスト冷却法⁶⁾⁷⁾が普及してきた。2CCにおいても昭和59年10月よりこのミスト冷却法を採用し、鑄片品質の向上と出片温度の上昇に

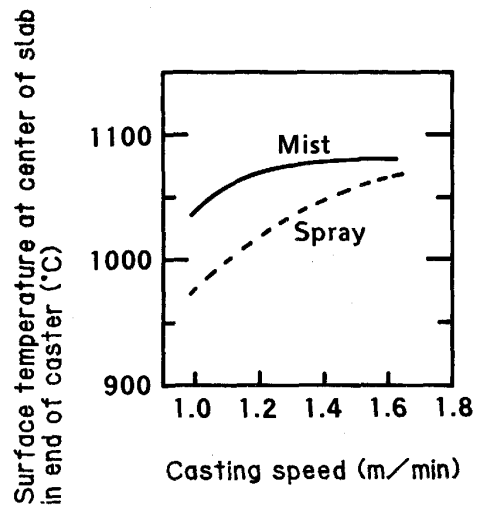


Fig. 10. Relationship between the casting speed and the surface temperature at center of slab by spray cooling and mist cooling.

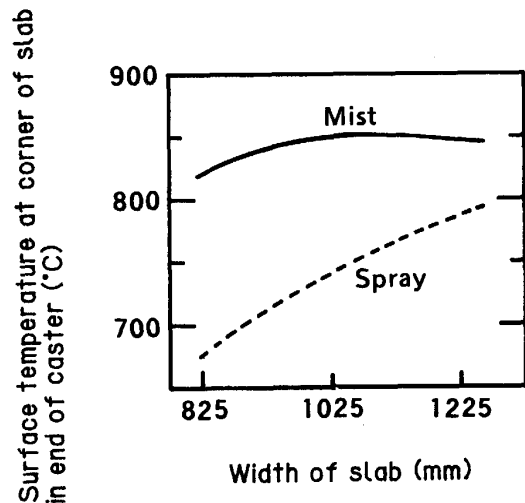


Fig. 11. Relationship between the width of slab and the surface temperature at corner of slab by spray cooling and mist cooling.

取り組んできた。

スプレー冷却法とミスト冷却法の比較を、Fig. 10 に鑄造速度と連铸機機端における鑄片幅中央部表面温度との関係で、Fig. 11 に鑄片幅と連铸機機端における鑄片コーナー部表面温度との関係で示す。図よりミスト冷却は特に低速度側及び狭幅側において鑄片温度上昇の効果が大きく鑄造速度や鑄片幅によらず一定の出片温度が得られることがわかる。これはミスト冷却法における水量制御範囲の広さによるものである。ミスト冷却法採用後、DHCR 材における鑄片の加熱炉装入温度を大幅に上昇させることができた。

4.3 鑄片バリ取り技術

ガスカッターで切断した鑄片の下面にはバリと称する溶融滓が固着し、これを除去せずに圧延するとコイルに疵が発生するだけでなく、圧延ロールにも疵をつける可能性があり、熱片直送化を行うためにはこのバリ取り技術も重要な技術のひとつとなる。

2CCではガス溶削式のバリ取り装置を採用した。2CC稼動以来CCR, HCRを主体とした操業ではバリ残

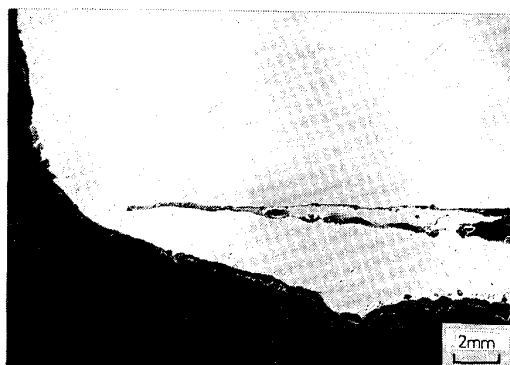


Photo. 1. Section of the primary burr.

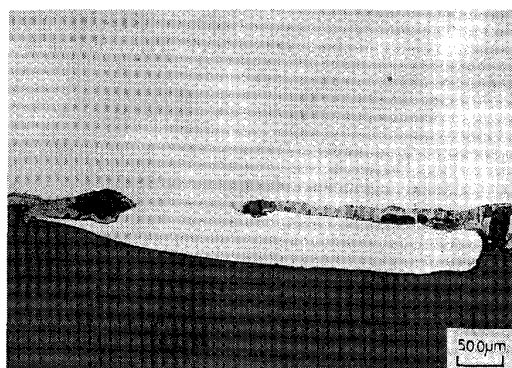


Photo. 2. Section of the second burr.

による問題は皆無であつたが、ミスト冷却の導入後鑄片温度が上昇し、かつDHCR化によつて加熱炉の在炉時間が短縮されたことにより、昭和60年度よりバリ残によるコイル表面疵が急増した。

Photo. 1はガスカッター切断で発生したバリ(以下1次バリ)の拡大断面であるが、鑄片とバリの融合部分は約2mmであり、その他の部分は分離している。またPhoto. 2にバリ取り装置で溶削後スラブ端面より約50~100mmの位置に分散して存在するバリ(以下2次バリ)の拡大断面を示す。1次バリと同様に一部分のみ鑄片と融合し、他の部分は分離している。1次バリ、2次バリのうち、ミスト冷却後バリ残によるコイル疵の増加は、コイルの疵発生位置より判断して、2次バリの影響によるものと考えられた。

2次バリはバリ取り装置の溶削強さが強すぎると発生し、かつ鋼種、鑄片温度によつても付着状況が異なる。Fig. 12に鑄造中の鑄片表面温度の変化の一例を示すが、このように鑄片温度は鑄造中においてもタンディッシュ交換により大きく変化する。そこで、鑄片温度によるバリ溶削速度自動調整システムを導入した。さらに、鋼種別にもガス圧・溶削速度を設定するよう改善した。特に2次バリ残存の対策として、バリ取りメイン火口の脇にサブ火口を設置し、1次バリ溶融物を吹きとばす方式を採用した。以上の改善により、Fig. 13に示すようにバリ残存によるコイル疵の発生率は昭和61年度より減少し、昭和62年上期には昭和60年度の約1/5にまで減少した。

4.4 直送圧延状況

Table 4に2CC-2HOTラインにおけるDHCR実施状況を示す。以上に述べたような連鑄技術の改善に加えて生産計画上のマッチング技術の改善により、昭和60年7月と比較し昭和62年7月には、製鋼要因による非

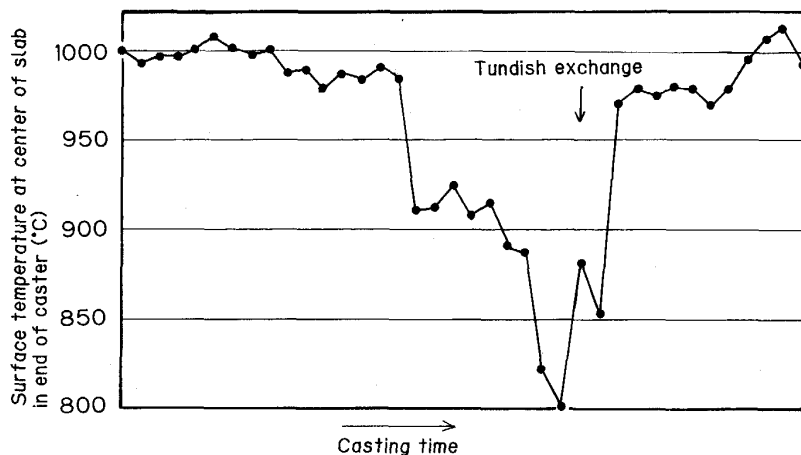


Fig. 12. Change of surface temperature of slab during casting.

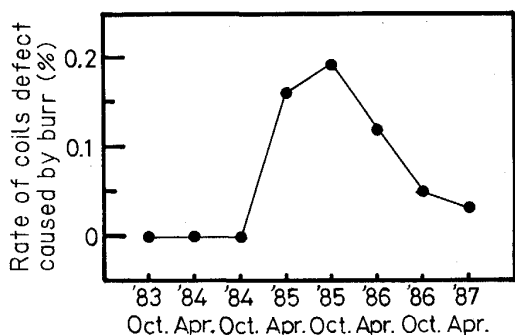


Fig. 13. Rate of coils defect caused by burr.

装入対象材のみならず，熱延要因または CC-HOT 間のマッチング不良によるリジェクト材も大幅に減少し，トータル装入率では，7.8% の向上をみた。

5. 結 言

呉製鉄所の熱片直送量拡大は，連铸-熱延間の距離の最短化というレイアウト上の長所を十分に生かしつつ，連铸技術の改善による高品質スラブの製造と厳格な品質保証システムの確立に基づいている。

今後さらに熱片直送のための技術開発・改善を図り，

Table 4. Reasons of no charging on DHCR cycle.

Factors of no charging	Ratio (%)	
	'85 July	'87 July
No charging caused by bad casting condition	12.5	7.0
Reject owing to hot rolling or matching miss	5.8	2.5
Total direct hot charging ratio	81.7	90.5

品質の向上と熱延直送実施量の拡大によるコストの低減を推進していく。

文 献

- 1) 品川裕明, 俵 正憲, 殿村一男, 小林能治, 宮川保重, 荒木茂昭: 日新製鋼技報 (1983) 48, p. 61
- 2) 川上公成, 北川 融, 水上秀昭, 内堀秀男, 宮原 忍, 鈴木幹雄, 白谷勇介: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 1190
- 3) 中野武人, 藤 雅雄, 永野恭一, 溝口庄三, 山本利樹, 浅野敬輔: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 1210
- 4) 馬田 一, 浜上和久, 久我正昭, 榎本光春: 鉄と鋼, **69** (1983), S 1031
- 5) 宮脇芳治, 半田正之, 内田繁孝, 寺岡卓治, 白谷勇介, 石田寿秋: 鉄と鋼, **70** (1984), S 143
- 6) 河野拓夫, 島 孝次, 桑原達良, 山本利樹, 和気 誠, 常岡 聡: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 1792
- 7) 三塚正志, 福久陽三, 和気 誠, 岡島正樹, 宮下 永, 武田安夫: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 694