

ステンレス鋼の品質向上のための新連铸技術^{*1}

川崎製鉄技報
17 (1985) 3, 217-224

中戸 参^{*2} 野崎 努^{*3} 垣生 泰弘^{*4} 小倉 滋^{*5} 森下 仁^{*6} 駒村 宏一^{*7}

New Equipments for Quality Improvement of Stainless Steel Casting

Hakaru Nakato, Tsutomu Nozaki, Yasuhiro Habu, Shigeru Ogura, Hitoshi Morishita, Kōichi Komamura

要旨

SUS 304, SUS 430 を主体としたステンレス鋼スラブの千葉製鉄所 No. 1 連铸機での新しい連铸技術の開発とそれにもなう品質改善結果を述べた。タンディッシュ内溶鋼加熱装置の開発、ハイサイクルオシレーションの適用、新精整ヤードの稼動、連続幅変更の実施等によりスラブの表面並びに内部品質は著しく改善され、スラブ表面手入れ量の減少、製品コイルの品質向上に大きく貢献している。また、実験を継続中である EMBR による铸型内溶鋼流速制御、铸型内潤滑状態監視システムは品質保証と安定铸造に関して有効な知見を得つつある。

Synopsis:

Installation of new equipment to No. 1 continuous caster of Chiba Works, by which stainless steels are mainly cast, leads to quality improvements of slabs. Surface and internal qualities of stainless steel slabs are markedly improved by the development of the tundish heating system, application of high cycle mold oscillation, use of continuous width changes during casting and construction of a new conditioning shop. Remarkable decrease in the grinding loss of slabs and quality improvement of cold-rolled coils are hence accomplished. Control of the liquid flow from the submerged nozzle in the mold by EMBR and the monitoring system of mold lubrication are continuously kept under experiment in the same caster to ensure the slab quality and the stability of casting.

1 緒 言

MF—K-BOP—RH プロセスおよび一貫製鉄所の利点を生かした予備処理溶銑の活用で安価に溶製されるステンレス溶鋼は、昭和49年に千葉製鉄所 No. 1 連铸機で铸造して以来順調に推移してきており、現在ではその全てを連铸化するにいたっている。

昭和46年に稼動を開始した当連铸機は、全湾曲型の1ストランドであり、Table 1 に示すように、ステンレス鋼のほか高炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼等の特殊鋼を铸造している。このように、No. 1 連铸機がステンレス鋼以外の多種にわたる特殊鋼との兼用機であること、また、200 mm 厚のスラブを全湾曲型の連铸機で铸造することを考慮して、ステンレス鋼の連铸化に際してはスラブ品質の向上に一層の努力を傾注している。

このような観点から、本報では、当社で開発した、あるいは研究開発中であるステンレス鋼の新しい連铸技術であるタンディッシュ内溶鋼加熱装置の開発、铸型内溶鋼流速制御法の適用、ハイサイクルオシレーションの適用などによるスラブの表面並びに内部品質の向上について述べる。

2 ステンレス鋼連铸技術の確立

2.1 タンディッシュ内溶鋼加熱装置の開発²⁾

铸造初期、速速铸の鍋交換時、铸造末期などのいわゆる非定常铸

Table 1 Steel grades cast at Chiba No. 1 continuous caster

Classification		Steel grade
Ferritic stainless steel		SUS 430
Martensitic stainless steel		SUS 410, R 410 DH SUS 420 J1, SUS 420 J2 HCS 16, SUH 409 R 409 SR
Austenitic stainless steel		SUS 304
High carbon steel ($C \geq 0.50\%$)		SAE 1050-1060, S50C S55C, SK 5, SK 4, SKS 5, SKS 51
Low alloy steel ($C < 0.50\%$)	Cr-Mo steel	SCM 415, SCM 435 SCM 440, SAE 4130
	Mn-Cr steel	SMNC 3, SAE 5046
	Ni-Cr-Mo steel	SNCM 220, SAE 8615 SAE 8617, SAE 8620
	Mn steel	SAE 1041, SAE 1041 M
High alloy steel		9% Ni steel

造期には、

- (1) タンディッシュ内溶鋼温度が低下する。
- (2) 取鍋—タンディッシュ、タンディッシュ—铸型間で注入流の

*1 昭和60年3月27日原稿受付

*2 鉄鋼研究所水島研究部第1研究室主研員(掛長)

*3 鉄鋼研究所プロセス研究部製鋼研究室室長(部長補)・理博

*4 技術研究本部企画部企画開発室主査(部長補)・工博

*5 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室

*6 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(掛長)

*7 千葉製鉄所鉄粉溶接部鉄粉溶接技術室

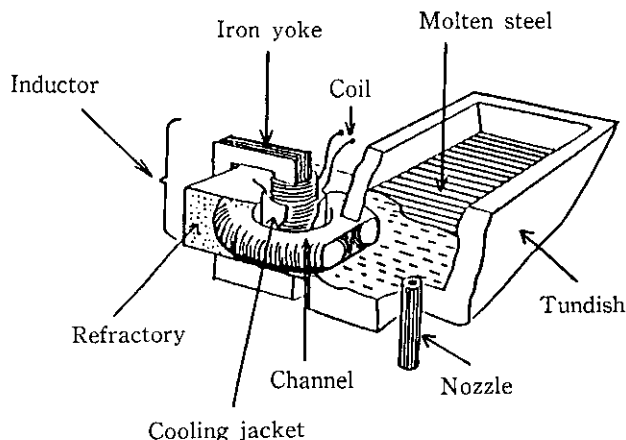


Fig. 1 Schematic view of tundish heater system

再酸化が生じ易い。

- (3) 取鍋やタンディッシュのスラグ、モールドパウダーが溶鋼中に混入し易い。

などの問題がある。特に、タンディッシュ内溶鋼温度の低下は、溶鋼内の介在物の浮上分離を困難にさせる。したがって、タンディッシュ内溶鋼温度を制御して一定の過熱度を保持することは、スラブ品質の向上に不可欠の技術である。

2.1.1 タンディッシュ内溶鋼加熱装置

本加熱装置は、低周波誘導加熱方式による溝型インダクターを用いており、インダクターとこれに電力を供給する電源部および制御部から構成される。インダクターは、溶鋼を導入するための溝部（以後、溶鋼チャンネルと称する）と誘起電流を発生させるための鉄心とコイルがあり、Fig. 1 に示すように、タンディッシュ（容量 7 t）の側壁にフランジ合わせて接続している。

鉄心に巻かれた 1 次側コイルに交流電源を印加することにより、2 次側に相当する溶鋼チャンネル内に誘導電流を発生させてジュール熱により溶鋼を加熱する。 casting 初期に生ずるタンディッシュ耐火物への吸熱を補償するためには、インダクターへ大きな電力を迅速に投入する必要があるが、一方、経済的には小規模の加熱装置が望ましい。No. 1 連铸機のタンディッシュ内溶鋼の通常工程チャージにおける温度推移の測定結果をもとに熱収支で検討し、最大 1070 kW のインダクターを採用した。

2.1.2 実験方法

ステンレス鋼連铸時に、铸造初期および末期、取鍋交換時の温度低下防止を目的とし、全铸造時間にわたりタンディッシュ内溶鋼温度を一定保持する加熱実験を行った。また、铸造中期にタンディッシュ内溶鋼過熱度を変化させてスラブの内部性状に及ぼす過熱度の影響を確認する実験を行った。

(1) 加熱方法

本実験における印加電流の制御は、開発の初期にはタップの切換えによる手動制御で行った。連続測温の実施とサイリスタを用いた自動制御システムを既に完成しているが、このシステムとその適用結果については別報³⁾で詳述する。

铸造初期のタンディッシュ内溶鋼の温度低下が一番大きいため、インダクターへの投入電力は、この温度低下が一番大きい 1 min 後に最大となる方法を用いた。タンディッシュ内溶鋼の温度は、本実験のために新しく開発した浸漬型温度計により連続測定を行った。

(2) 実験条件

Table 2 Casting conditions for experiments

	No. 1 cc
Slab size	
Thickness	200 mm
Width	800-1 280 mm
Casting speed	0.8-0.9 m/min
Oscillation condition	
Stroke	2-8 mm
Frequency	60-300 mm

SUS 304, SUS 430 ステンレス鋼の連铸時に約 200 回の溶鋼加熱実験を行った。タンディッシュ内溶鋼加熱条件以外の操業条件は、Table 2 に示す通りである。

(3) スラブ性状の調査方法

前述の非定常铸造期に相当する位置から 6 m 長さのスラブを検査対象とし、表層部（表面より 20 mm 深さまで）の大型介在物およびピンホールの厚さ方向の分布を染色探傷法により調べた。また、スライム抽出法、X線透過法および酸素分析から厚さ方向集積帯近くの介在物量を調べた。

(4) 製品コイル性状の調査方法

スラブ表層部の大型介在物に起因する冷延板のへげまたは筋状欠陥およびスラブ内部の介在物集積帯に存在する大型介在物に起因する冷延板のフクレ状欠陥の発生頻度を調べた。

2.1.3 铸造初期の投入電力パターンの最適化

铸造初期に生ずるタンディッシュ内溶鋼温度の低下を補償するには、インダクターへの投入電力を大きく取る必要がある。しかし、タンディッシュ内の溶鋼深さが十分でない時に投入電力が過大になると、電気的不安定現象（ピンチング）が発生し、安定した溶鋼加熱が不可能となる。一方、溶鋼深さに対して投入電力が過小では、十分な溶鋼加熱効果が得られない。加熱時の電気的安定度を電源部にある load balancer の電流値変化で評価した。ピンチングが発生すると、これによる 2 次抵抗の増加と変動のために、load balancer の電流値変化が著しくなる。タンディッシュ内の溶鋼深さが増すほど大きな投入電力を安定供給することが可能となり、600 mm 以上の深さでは、最大の 1000 kW の電力投入が可能である。铸造初期のタンディッシュ内溶鋼温度低下を防ぐには、電力を投入するまでの時間が長いと十分な加熱効果が得られないため、可能な限りこの時間を短くする必要がある。

以上に述べた点を考慮した铸造初期の最適投入電力パターンの例を Fig. 2 に示す。铸造初期にタンディッシュ内溶鋼加熱法を適用したチャージの溶鋼温度低下は 5°C 以下であり、加熱のないチャージの溶鋼温度低下が 10~20°C に比較して著しい改善効果が見られる。さらに、温度低下からの回復もはやく、加熱のないチャージの約 13 min に対して半分以下の約 6 min に短縮された。

2.1.4 取鍋交換時および铸造末期のタンディッシュ内溶鋼加熱

铸造初期、取鍋交換時および铸造末期を含む連铸ヒートの全铸造期間にわたる溶鋼温度制御例を Fig. 3 に示す。取鍋交換時および铸造末期のタンディッシュ内溶鋼温度低下は、铸造初期に比べて小さいので最大電力の約 1/2 の投入電力でこれを防ぐことができる。

2.1.5 スラブ性状の改善効果

SUS 304 の铸造初期、取鍋交換部および铸造末期の非定常部スラ

ブの表層部の大型介在物およびピンホールの分布におよぼすタンディッシュ内溶鋼加熱の影響を Fig. 4 に示す。溶鋼加熱を実施することにより、表層部の大型介在物およびピンホールは、加熱のないチャージのそれと比較して 1/4~1/12 に減少する。特に、通常工程では溶鋼温度低下の大きい鋳造初期のスラブは、溶鋼加熱によるこ

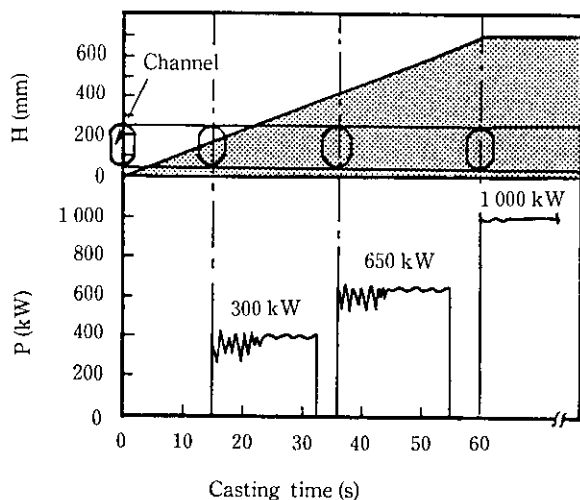


Fig. 2 An example of optimum power input at the start of casting

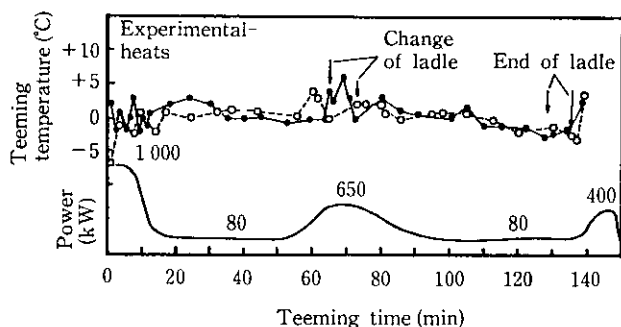


Fig. 3 Temperature change of molten steel in tundish during casting

れら欠陥の減少効果が著しい。タンディッシュ内溶鋼加熱法の適用により、非定常部スラブの表面品質は定常部スラブのそれと同等のレベルまで改善される。これは、鋳造時の溶鋼温度の上昇により、モールドパウダーの溶融性が向上したことおよび溶鋼中の介在物がタンディッシュや鋳型内で浮上分離し易くなるためと考えられる。

2.1.6 製品コイルの表面性状改善効果

鋳造の非定常部に相当するスラブから圧延した製品コイルには、前述のように、ヘゲまたは筋状欠陥、さらにフクレ状欠陥が発生し易い。製品コイルのこれら欠陥の生成状況におよぼすタンディッシュ内溶鋼加熱の影響を調べた。溶鋼加熱を適用したチャージの約 200 コイルの調査結果では、いずれの欠陥も減少したが、特にフクレ状欠陥は皆無であり顕著な改善効果が得られた。

2.1.7 インダクターの熱効率

タンディッシュ内溶鋼量は一定であり、かつ完全混合を仮定する。溶鋼加熱の有無を考慮してタンディッシュ内溶鋼に関する熱収支を取れば、(1) 式が得られる。

$$\frac{d\Delta T}{dt} = -\frac{Q}{W} \times \Delta T + \frac{H_h}{C_p \cdot W} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta T \equiv T_h - T$$

ここで、

- T_h : 溶鋼加熱適用時のタンディッシュ内溶鋼温度
- T : 溶鋼加熱を適用しない場合のタンディッシュ内溶鋼温度
- Q : タンディッシュ内溶鋼の流出、流入速度
- W : タンディッシュ内溶鋼重量
- H_h : 加熱エネルギー
- C_p : 溶鋼比熱
- t : 時間

である。 $t=t_0$ において $\Delta T=0$ (溶鋼の温度低下が解消) とすれば、(2) 式が得られる。

$$\Delta T = \frac{H_h}{C_p \cdot Q} \left(1 - \exp \left[-\frac{Q}{W} (t - t_0) \right] \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$t_0=1$ min における (2) 式の ΔT に関する計算値と実測値の比較を Fig. 5 に示す。本溶鋼加熱装置の熱効率 は 75~100% の範囲にあり、平均値は 85% である。水冷ジャケットやインダクター外壁および誘導コイルの冷却水への放熱量は 10~15% に相当するこ

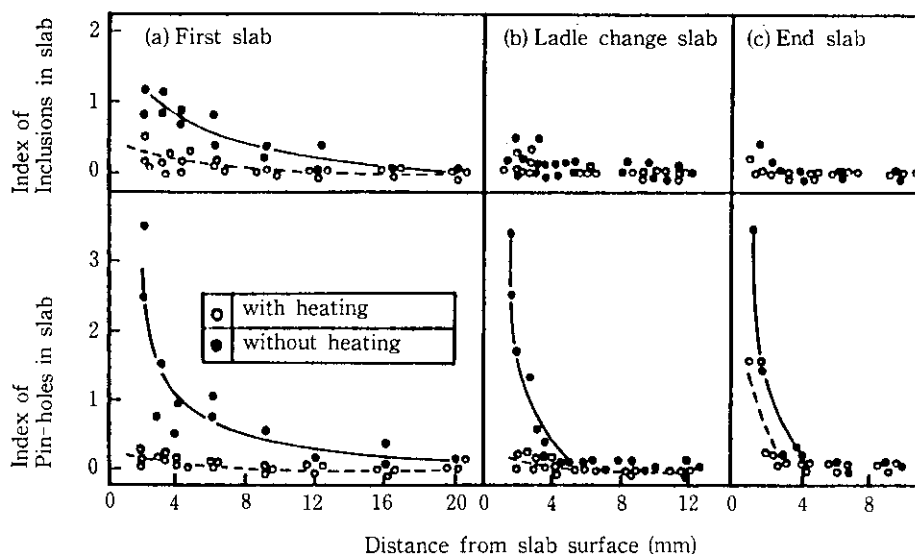


Fig. 4 Decrease of inclusions and pin-holes in SUS 304 slab by tundish heater

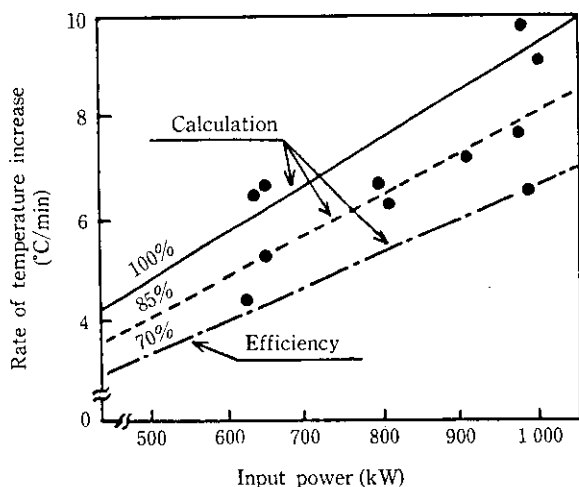


Fig. 5 Heat efficiency of tundish heater

とから、85%の加熱効率は妥当な値であると考えられる。

2.2 鋳型内溶鋼流速制御

前述のように、非定常部スラブの品質向上技術としてタンディッシュ内溶鋼加熱の適用を推進してきた。さらに、定常部を含めたスラブの品質向上のための新技術として、当社が ASEA 社と共同開発した鋳型内溶鋼流速制御技術である電磁ブレーキ (Electromagnetic brake, 以後、EMBR と略称)⁴⁾を開発設置した。

2.2.1 EMBR 装置の概要

EMBR 装置の概要を Fig. 6 に示す。鋳型長辺面に取り付けた 4 つのコイルに直流を印加し、鋳型内に直流磁束 (静磁場) を作用させる。浸漬ノズルから吐出する溶鋼流は、静磁場との相互作用によって溶鋼内に発生する制動力で減速されるので、短辺面凝固殻への衝突速度および衝突後の 2 次流 (上昇および下降流) 流速が遅くなる。

2.2.2 鋳型内湯面変動量に及ぼす EMBR の影響

SUS 430 ステンレス鋼の連铸時に測定した湯面変動量は、EMBR を適用した場合には $\pm 1.2\text{mm}$ となり、適用しない場合の $\pm 1.7\text{mm}$ に比べて減少した。EMBR の適用により 2 次上昇流流速が遅くなるので湯面が鎮静化し、湯面変動量が小さくなる。このため、

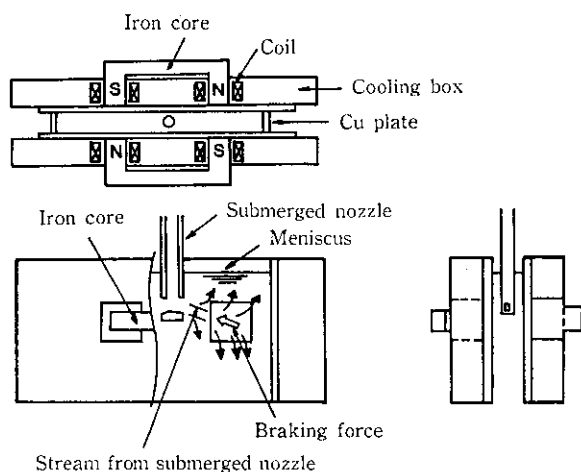


Fig. 6 Schematic representation of the electromagnetic brake, EMBR

EMBR を適用したスラブはオシレーションマークの乱れが少ない。

2.2.3 スラブの内部品質に及ぼす EMBR の影響

SUS 430 ステンレススラブの内部品質 (介在物、気泡) に及ぼす EMBR の影響をスライス試料の X 線透過で調べた。X 線透過により現われる $100\mu\text{m}$ 以上の欠陥 (以後、この欠陥を "B スポット" と称する) のスラブ厚さ方向分布を Fig. 7 に示す。EMBR を適用しない場合には、湾曲型連铸機特有の B スポットの 1/4 厚集積帯が生じることがあるが、EMBR の適用によりこの集積帯は著しく減少するかもしれない。もしくは消滅する。

SUS 304 ステンレススラブの B スポットの 1/4 厚集積帯の幅方向分布を Fig. 8 に示す。EMBR を適用しない場合には、短辺側で B スポットの増加が認められるが、EMBR を適用することによりこの短辺側の B スポットが認められなくなる。

なお、この B スポットは、光学顕微鏡観察により、その 99% が気泡であることを確認した。この気泡は、鋳造時にノズルより吹き込まれた Ar 気泡がスラブ内に捕捉されたものである。現在、EMBR 適用チャージの製品コイル成績を確信中であるが、良好な成績が得られつつある。

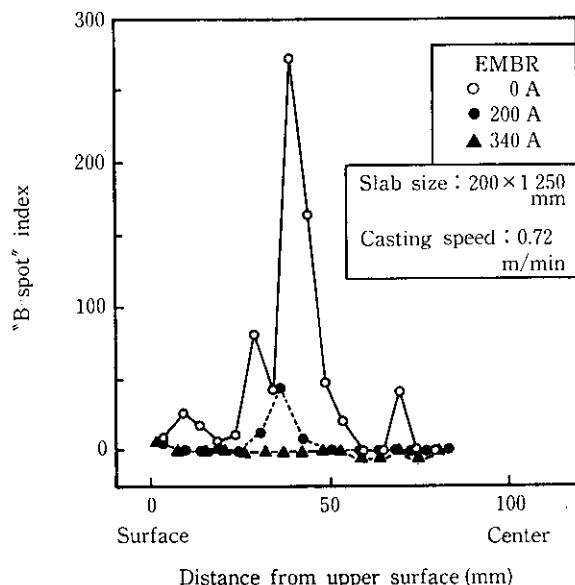


Fig. 7 Effect of EMBR on the "B-spot" distribution

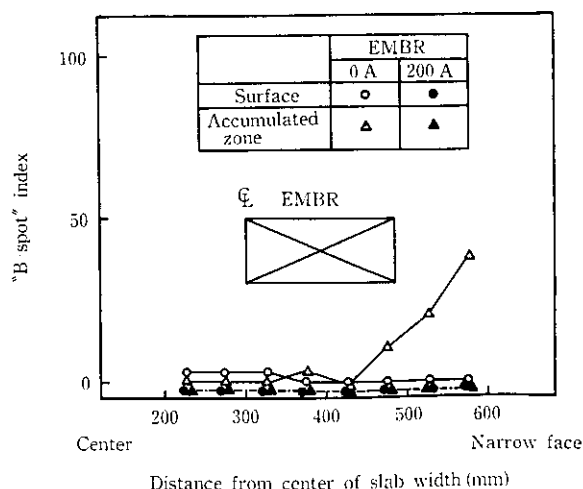


Fig. 8 Decrease of "B-spot" by EMBR

2.3 ハイサイクルオシレーションの適用

鋳片表面に生成するオシレーションマークは、表面横割れやコーナー部のカギ割れ、正偏析、ノロカミや表層下介在物の捕捉の原因となる⁵⁻¹⁴⁾。また、鋳片加熱時にスケール生成量の少ないステンレス鋼では、オシレーションマークそのものが残留して冷延鋼板の欠陥となる場合がある^{6,11)}。

オシレーションマークの深さ $\bar{d}$ は、Fig. 9 に示すように、サイクル数 f が高くなるほど、ストローク s が短くなるほど浅くなる。オシレーションマークとマーク部に生成する爪を浅くするには、 f を高くするか、 s を短くして (3) 式で表されるネガティブ時間 t_N を小さくする必要がある。

$$t_N = \frac{1}{\pi f} \arccos\left(\frac{u}{\pi f s}\right) \quad (3)$$

ここで、

u : 鋳造速度である。

2.3.1 鋳型振動機構の改造

当初、No. 1 連続鋳機の鋳型振動機構はシーザス方式を採用していた。この方式は、振動系の剛性が低く、130 cycle/min を越えるサイクル数になると鋳型の横振れ（水平振動）が激しくなるために、ハイサイクルオシレーションが困難であった。そこで、当連続鋳機の鋳型振動機構として最高 400 cycle/min の振動が可能なショートレバー方式を採用すると共に、剛性を高める改造を行った。

2.3.2 実験方法

実験条件を Table 2 に示す。実験に際しては、(4) 式で定義す

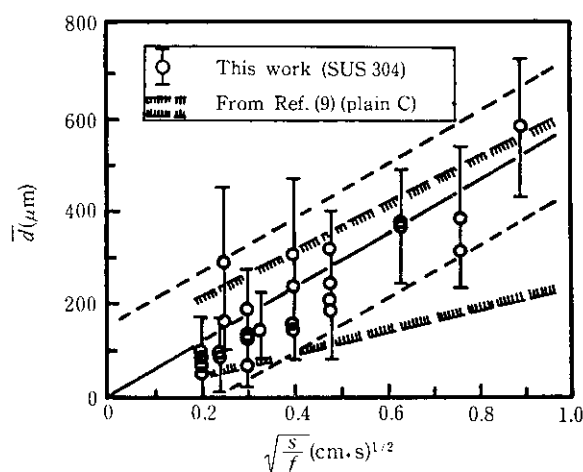


Fig. 9 Effect of mold oscillation on the mark depth of slabs

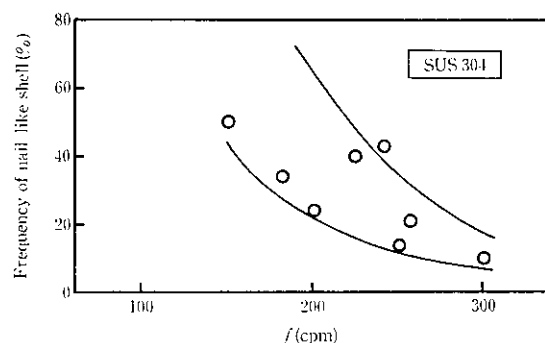


Fig. 10 Effect of mold oscillation on the frequency of nail-like shell formation

る平均速度表示のネガティブ率 N が正となるように、 f を高くするにつれて s を短く設定した。

$$N = \frac{2sf}{u} - 1 \quad (4)$$

実験後のスラブは、黒皮面の目視観察によって表面性状を調べると共に、オシレーションマークの深さと間隔の測定、凝固組織と爪形状の観察、偏析の状況を調べた。さらに、スラブ表層部のノロカミおよび大型介在物の分布を調べるために、グラインダーで研削後に染色深傷を行った。

2.3.3 オシレーションマーク深さと間隔に及ぼす鋳型振動条件の影響

別報¹⁸⁾の理論解析でも示したように、オシレーションマークは、鋳型内メニスカス部の流入スリットにネガティブストリップ時に強制流入する溶融スラグが凝固殻を溶鋼側に押し曲げることにより生成する。このため、Fig. 9 に示したように、ハイサイクルオシレーションの適用によってオシレーションマークが浅くなる。また、ハイサイクルオシレーションの適用により、Figs. 10, 11 および Photo 1 に示すように、オシレーションマーク部の爪が浅くなるのみならず爪の生成頻度も減少する。このように、爪形状が著しく改善されるので、オシレーションマーク部の正偏析^{5,6,11)}の深さと範囲ならびに生成頻度が減少する。Fig. 11 から明らかな

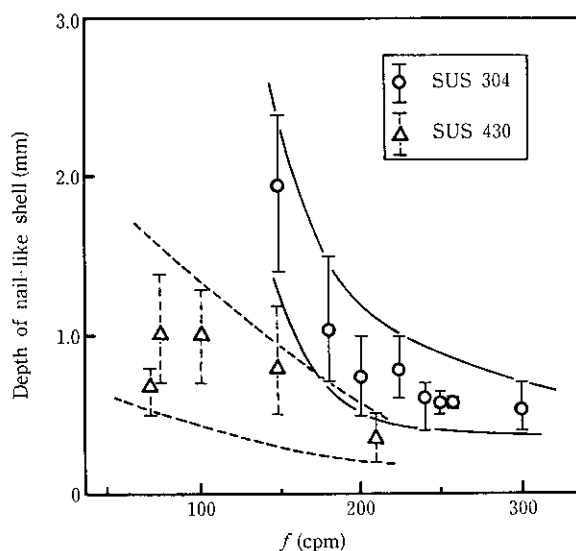


Fig. 11 Effect of mold oscillation on the depth of nail-like shell

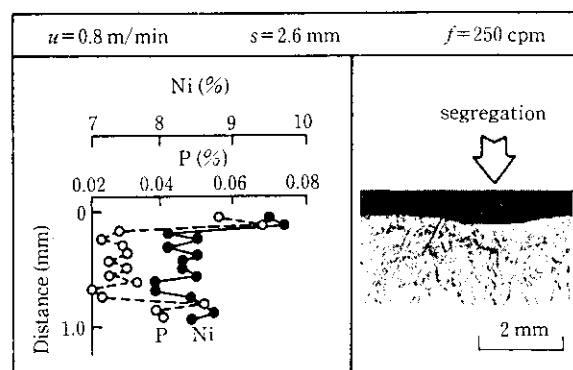


Photo 1 Phosphorus and nickel segregation of oscillation mark (SUS 304)

ように、SUS 304 と SUS 430 では、爪の生成頻度のオシレーション条件依存性が異なる。これは、鋳型内メネスカス部の凝固殻強度が両者で違うためである。竹内ら⁹⁾も指摘しているように、スラブを無手入圧延すると、この正偏析が製品板に残留して模様を呈することがある。したがって、ハイサイクルオシレーションによって爪形状を改善し、正偏析の生成を防ぐか、極力浅くする必要はある。

オシレーションマーク間隔の実測値 l' は、理論値 l ($\equiv u/f$) のまわりに分布するが、操業条件によっては $l' \gg l$ となり、本来の生成位置にオシレーションマークが認められない場合がある。オシレーションマークは、同じオシレーション条件下でも、 l' が大きくなると深くなる。このオシレーションマークの消失は、微小な湯面変動によるメネスカス部での実ネガティブ時間の減少または消失に起因する¹⁴⁾。オシレーションマークが消失する場合には、ハイサイクルオシレーションの適用効果が減少するのみならずメネスカスからのスラグ流入が不均一になりかつ減少するので、湯面変動の幅と周期を小さくする必要がある。

2.3.4 連続スラブのノロカミ、表層下介在物に及ぼす鋳型振動条件の影響

スラブ表層部のスカム指数（ノロカミおよび大型介在物の発生頻度）におよぼす鋳型振動条件の影響を Fig. 12 に示す。染色探傷法により検出されるスカム疵は、ハイサイクルオシレーションで減少する。SUS 304 スラブの場合、 $f \geq 200$ cpm にすると従来の $f =$

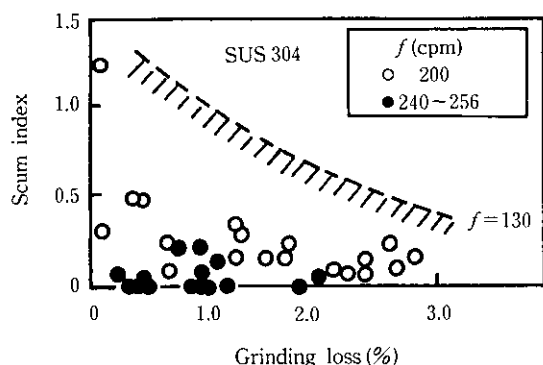


Fig. 12 Improvement of surface quality of slabs by high cycle oscillation casting

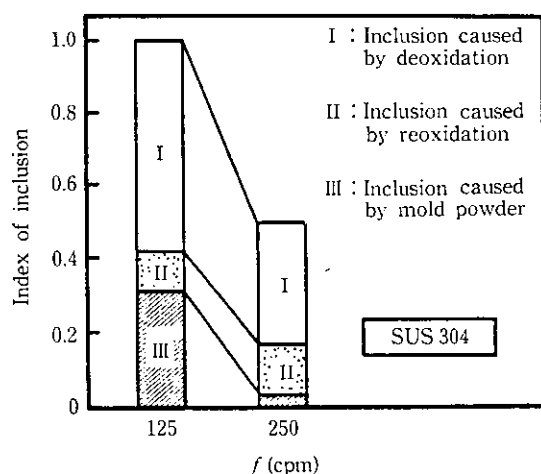


Fig. 13 Decrease of slab surface inclusions by high cycle oscillation casting

130 cpm に比べてスカム疵は 1/2 以下になる。SUS 304 スラブ表層部のスカム疵の起因別調査結果を Fig. 13 に示す。ハイサイクルオシレーションにより、連鑄パウダー起因および脱酸生成物起因と考えられる介在物の減少が顕著である。これは、爪の形状が改善されるために爪部にノロカミや介在物が捕捉されにくくなるためである。さらに、ハイサイクル化によってストロークが短くなるので湯面の溶融スラグ層厚に対する鋳型下降距離の相対割合が小さくなり、パウダーの未溶融層や焼結層、半溶融層のメネスカス部への捕捉機会を少なくするためであると考えられる。

2.3.5 高能率、安定鑄造を支える技術

鋳型内潤滑状態監視システムは、当社で開発したピン式ロードセル¹⁵⁾や熱電対埋込方式を用い、鑄造時の鋳型内潤滑状態を監視する。現在、本システムの実験を継続中であるが、鋳型内潤滑状態について興味ある知見が得られ、No. 1 連鑄機の安定鑄造に成果をあげている。

一方、多連鑄の実施は、前述のような非定常部の減少と耐火物原単位等の諸原単位の低減に有効である。特に、小ロット、多品種生産を余儀なくされるステンレス鋼の連鑄においては、連続幅変更を実施することで高能率となりスラブ品質も向上する。最近の 1 タンディッシュ当たりの鑄造量は、平均 270 t に達している。

3 新精整ヤードの稼動と表面手入れの効率化

3.1 新精整ヤードの概要

新精整ヤードは、千葉製鉄所東工場内の 3 箇所に分散していた手入れ工場を集中統合し、大幅な合理化を達成すると同時にスラブ表面品質の向上、歩留管理の強化を実現すべく建設した新工場であり、昭和 58 年 8 月に稼動した。

ステンレス鋼スラブの表面品質は、すでに述べたような技術の開発、改善によって大幅に向上したが、当工場の稼動によってより安定したスラブ品質を容易に保証することが可能となった。なかでも、スラブリンダーの自動制御化、スラブショットブラスト装置の導入は、熱延加熱炉へ装入される前のスラブ表面粗度の均一化に有効であり、コイル表面品質への寄与も大きい。また、連鑄工場や品質管理部門と直結したオンラインコンピュータの導入は、スラブ品質、コイル品質の変化に対する迅速な解析および対応のアクションを可能ならしめた。

新精整ヤードのレイアウトを Fig. 14 に、特殊鋼・ステンレス鋼ラインの設備仕様を Table 3 に示した。

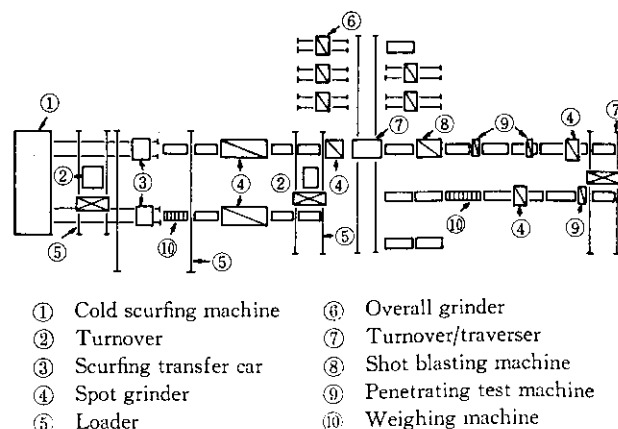


Fig. 14 Layout of new conditioning shop

Table 3 Specifications of conditioning machines for specialty steel

Machine	Specifications
Overall grinding machine	Gate type, over head style Grinding wheel: 610 mm ϕ Grinding speed: 4 800 m/min (max) Grinding angle: 45° Motor: AC 110 kW Traverse car: hydraulically-operated winch type
Spot grinding machine	Gate type, over head style Grinding wheel: 305 mm ϕ Grinding speed: 3 800 m/min (max) Grinding angle: 90° Motor: AC 15 kW
Turn-over traverser	Cradle type with lifting arms and table roller
Shot blast machine	Blasting density: 450 kg/m ² (at 1.5 m/min) Traverse speed: 0.5~4.0 m/min
Penetrating test machine	Over head auto-spray type with slab width detecting device

3.2 ステンレス鋼の表面品質に及ぼす手入れ条件の影響

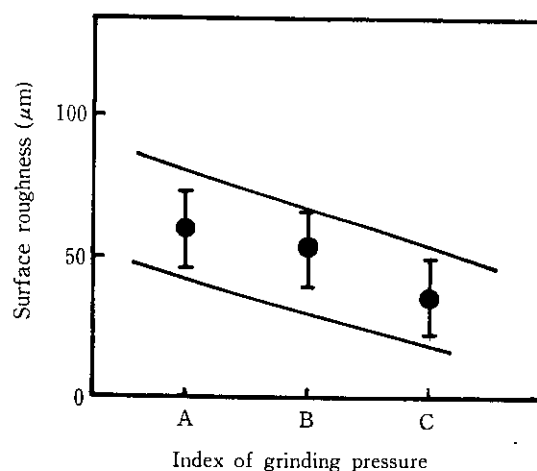
ステンレス鋼は、一般鋼と比較して熱延加熱炉内での酸化スケール生成量が少なく、スラブ表面の性状が直接、製品表面品質を左右する。この傾向は、オーステナイト系のステンレス鋼において特に顕著である。スラブ手入れの際に表面粗度、平坦度を十分に注意して管理することが、安定した表面品質の製品を得るために重要である。

新精整ヤードのスラブグラインダー設備には、上記の注意点を考慮して Power-level-control 装置による砥石押し付け圧力の制御を導入した。この制御方法の導入により、スラブとグラインダー砥石との間でスリップ現象が生じた場合にも、常に適切な押し付け圧力が確保され、一定の研削量を容易に保証することが可能となった。この方式の採用ならびに砥石の移動ピッチなどの自動制御化は、手入れ量のばらつき削減、表面粗度の均一化に有効であった。グラインダー押し付け圧力とスラブ表面粗度の関係を Fig. 15 に示す。この関係を用い、研削スケジュールのなかに押し付け圧力の項目を組み込むことによってスラブ表面粗度は容易に管理可能となった。

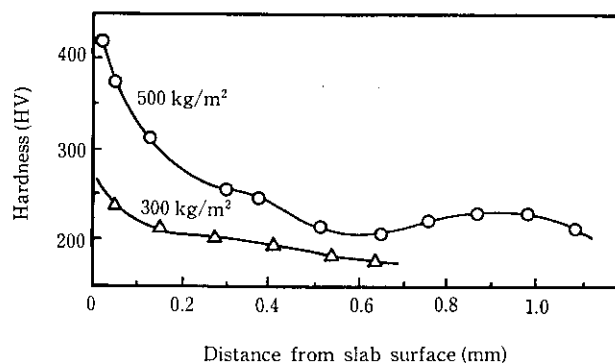
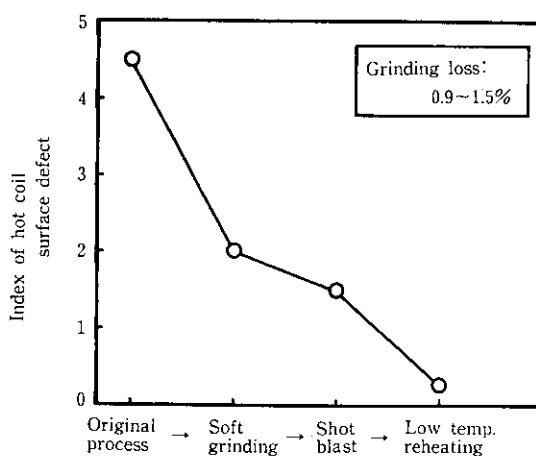
スラブ表面に対するショットブラスト処理は、熱間圧延時に生ずる粒界割れ起因の欠陥を減少させる効果がある。ショットブラスト処理後のスラブ表面の硬度分布を Fig. 16 に示す。ショットブラストによって表面直下の硬度は確実に上昇しており、この加工歪は熱延時の再結晶を促進し、その結果として熱間加工性が向上するものと推定される。また、ショットブラストは表面粗度の減少にも顕著な効果があり、均一かつ低いレベルの表面粗度に管理することが可能である。コイル表面欠陥の発生指数と精整ヤード内でのアクションの関係を Fig. 17 に示す。同一手入れ量を保証しても、コイル表面欠陥の発生率は手入れの方法で異なり、スラブ精整部門の作業管理がいかに重要であることを示している。

3.3 スラブ表面の手入れ軽減

ステンレス鋼連铸スラブの必要手入れ量は、連铸条件の改善にとり著しく減少しており、歩止の向上に大きく寄与している。当



A: 100% of a rated current with oscillation 3°
B: 100% of rated current
C: 50% of rated current

Fig. 15 Effect of grinding pressure on the surface roughness of slab**Fig. 16** Hardness distribution of slab after shot blast**Fig. 17** Improvement of hot coil quality by new conditioning machines

社では、ステンレス製鋼プロセスの千葉移行後ほぼ全てのステンレス鋼を連続製造によって製造してきたが、年を追ってスラブ品質は改善され、特にハイサイクルオシレーション法の導入以後、その向上が目覚ましい。また、新精整ヤードの稼動に伴うオンラインコン

ピュータシステムの導入により、手入れ命令と手入れ実績の確実な把握体制が完備し、製品品質の水準を維持しつつ実績手入れ量も削減されている。

一方、現在のスラブ品質での必要スラブ手入れ量の最小値を見出す目的で無手入れ圧延実験を工程的な規模で実施中であり、良好な成績を得ている。スラブから製品までグラインダー手入れを実施しないという基本方針のもとに実験を行っているが、無手入れ圧延の拡大には、タンディッシュ内溶鋼加熱による铸造温度の適正化、オキシレーション条件の改善、ショットブラストの実施といったスラブ品質の向上のみならず熱間圧延加熱炉での加熱温度、雰囲気、酸素濃度、在炉時間制御までの一貫した品質安定対策が重要である。

4 結 言

当社における SUS 304, SUS 430 を主体としたステンレス鋼スラブの新しい連铸技術の開発とそれにとまうスラブ品質の改善結果

を述べた。タンディッシュ内溶鋼加熱装置の開発、ハイサイクルオキシレーションの適用によりステンレス鋼スラブの表面並びに内部品質は著しく向上した。また、新精整ヤードの稼動によりスラブ表面手入れの適正化と効率化がはかられ、連続幅変更の実施により非定常铸造期が減少し、能率が向上した。

目下実験を継続中である EMBR による鋳型内溶鋼流速制御と鋳型内潤滑状態監視システムは、高能率連铸にとまう品質保証と安定铸造に関して効果的な知見を得つつある。

これらの新しい連铸技術の開発と適用は、スラブ表面手入れ量の軽減と製品コイルの品質向上に大きく貢献している。大規模で実施している無手入れスラブの加熱炉装入、圧延実験は良好な成績を得ている。

参 考 文 献

- 1) 反町健一, 野村 寛, 長谷川衛, 糸山誓司, 矢野修也: 川崎製鉄技報, **12** (1980) 3, 449
- 2) 吉井 裕, 野崎 努, 恒生泰弘, 上田典弘, 針田 彬: 鉄と鋼, 投稿中
- 3) 馬淵昌樹, 野崎 努, 桜井美弦, 梅津 明: 川崎製鉄技報, 投稿中
- 4) J. Nagai, K. Suzuki, S. Kojima, and S. Kollberg: *Iron and Steel Engineer*, **61** (1984) 41
- 5) 田中重典, 三隅秀幸, 木部寿夫, 太田達雄, 溝口省三, 堀口 浩: 鉄と鋼, **67** (1981) 13, S 852
- 6) 竹内英磨, 松村省吾, 日高良一, 長野 裕, 鈴木康夫: 鉄と鋼, **69** (1983) 2, 248
- 7) 中戸 参, 江見俊彦: 鉄と鋼, **64** (1977) 10, S 151
- 8) T. Emi, H. Nakato, Y. Iida, K. Emoto, R. Tachibana, T. Imai and H. Bada: *Steelmaking Proceedings*, **61** ISS-AIME, Penn., (1978), 350
- 9) 岡崎 卓, 友野 宏, 尾崎孝三郎, 赤羽 裕: 鉄と鋼, **68** (1982) 12, S 929
- 10) 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) 8, 1190
- 11) 戸澤宏一, 中戸 参, 野崎 努, 恒生泰弘, 岡 弘, 上田典弘: 鉄と鋼, **69** (1983) 5, S 159
- 12) 橋尾守規, 渡部忠男, 山本外喜男, 丸川雄浄, 川崎守夫: 鉄と鋼, **68** (1982), S 929
- 13) H. Nakato, T. Nozaki, Y. Habu, H. Oka, T. Ueda and T. Koshikawa: to be submitted to 68th Steelmaking Conference (April 15-17, 1985, Detroit)
- 14) 中戸 参, 野崎 努, 恒生泰弘, 岡 弘, 上田典弘, 田中貞治: 鉄と鋼, **69** (1983) 13, S 933
- 15) H. Nakato, S. Ōmiya, Y. Habu, T. Emi, K. Hamagami and T. Koshikawa: *J. Metals*, **36** (1984) 3, 44