

新連続鑄造設備の操業と品質

杉谷 泰夫*・橋尾 守規*²・川崎 守夫*²
木村 智彦*³・坂下 勉*²

New Continuous Slab and Bloom Caster at Kashima Steel Works

Yasuo SUGITANI, Moriki HASHIO, Morio KAWASAKI,
Tomohiko KIMURA, and Tsutomu SAKASHITA

Synopsis :

The new continuous caster at No. 1 steel-making shop in Kashima Steel Works is the low head type-multiunbending machine (SH-CCM).

Kashima Steel Works already has two units of big S-type continuous caster with two strands. And the production ratio of slabs by these two casters reaches approximately 60 percent of the total production in Kashima.

One of the main purposes to develop SH-CCM is to utilize the old top pouring deck for the conventional ingot making process, which is not used recently. The other is to produce rather inefficient lots for a big caster, such as the one with small amount or with a special size, in order to maintain high productivity of the main conventional casters.

The construction of this machine is more economical than that of a conventional caster since it is possible to utilize various facilities of the old ingot-making deck.

SH-CCM has many features, such as approximately 5.8 m in machine height, which is far smaller than that of the conventional caster, five successive unbending points, wide range in size and single strand which is applicable to both slab and twin-bloom casting.

The new caster has been running satisfactorily since its start-up in July 1979 and the quality of products is by no means inferior to that of conventional casters.

1. 緒 言

鹿島製鉄所、第一製鋼工場に建設された新連続鑄造設備は、通称 SH-CCM と呼称される低機高多点矯正型の連鑄機である。

当所においては、従来より住友-CONCAST 型の大湾曲連鑄機が 2 基-4 ストランド (S 型 12.5 mR) 稼動しており、所内の連鑄比率も約 60% に至っている。SH-CCM は、この連鑄比率の拡大を目的として既存の量産型主力連鑄機に付随し、特殊サイズや、小ロット品の連鑄化を主体に建設された設備である。また、本機は、同工場の造塊棟、鍋クレーンなどが遊休化していることに着目し、かつ、既存スペース内に収納させることを前提

に開発された低機高型連鑄機である。

SH-CCM の SH とは、従来の大型湾曲 CC (S 型) と、水平型 CC (H 型)¹⁾ の中間に位置する連鑄機の意味であり、両方の利点を兼ね備えた連鑄設備としての呼称である。[また、このような低機高型化することにより、設備費、建設費は大幅に合理化されきわめて安価なコストで完成されている。

本機は、機械高さ約 5.8m と既存の CCM に比べて非常に低く、鑄片サイズも設計仕様で 220~410 mm 厚、500~1700 mm 幅と適用幅が広範囲な、スラブ、ツィンブルーム兼用の 1 ストランド連鑄機であり、1979 年 7 月に稼動を開始して以来順調な操業を継続している。以下に本機の設定操業、品質の概要を報告する。

昭和 55 年 11 月 10 日受付 (Received Nov. 10, 1980)

- * 住友金属工業(株)中央技術研究所 (Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)
- *² 住友金属工業(株)鹿島製鉄所 (Kashima Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 3 Oaza-Hikari Kashima-cho Kashima-gun 314)
- *³ 住友金属工業(株)ニューヨーク事務所 (New York Office, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

2. 設 備 概 要

2.1 レイアウト

Fig. 1 に当所の第一製鋼工場の全体レイアウトと、SH-CCM の設置位置を示す。設置位置は、遊休化した造塊上注ぎリムドデッキを解体して建設したもので、その中の1デッキ分は、CC 非常鑄込み用デッキとしており本機が停止時には上注ぎリムド造塊デッキとしても使用できるように配慮している。

2.2 設備仕様

SH-CCM と、同工場内の No. 1 CCM の設備仕様比較を Table 1 に示す。また、Fig. 2 には SH-CCM の側面図をそれぞれ示す。

この新連鑄機の基本特徴は、

- (1) 機械高さ約 5.8m の低機高型であり、溶鋼静圧の大幅な減少が可能である。

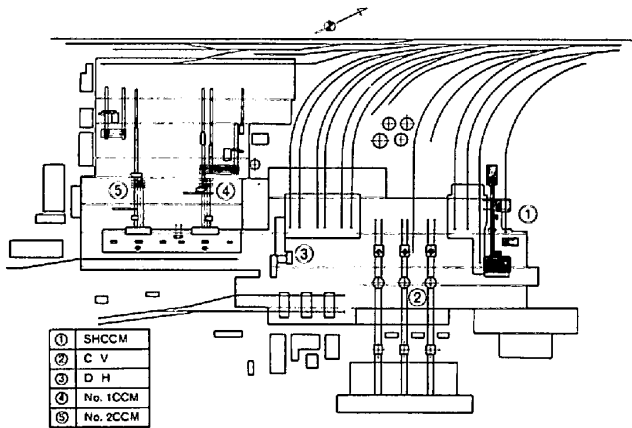


Fig. 1 Layout of No. 1 steel-making shop.

- (2) 多点連続矯正型²⁾であり、矯正歪みの分割を実施している。

- (3) スラブ、ツィンブルーム兼用機であり、多品種、多種サイズの適用が可能である。の3点が掲げられる。Fig. 3 には、本機と No. 1 CCM との機高比較概念図を示し、また Fig. 4 には、SH-CCM の最も重要部分である矯正ゾーンをそれぞれ示す。

3. 操 業

SH-CCM は、1979年7月に稼働を開始して以来操

Table 1. Specification of SH-CCM compared with No. 1 CCM.

		SH-CCM		No. 1 CCM	
Steel Making Furnace		250 tons LD Converter		250 tons LD Converter	
Machine Type		CONCAST SH Type with five unbending points		CONCAST S Type with one unbending point	
Start up		1978.7		1972.9	
Strand Radius		5.8m ~ ∞		12.5 m	
Number of Strand		1		2	
Machine Height		5.75 m		12.3 m	
Machine Length	STEP I (START)	22.9 m	22.9 m	23.9 m	
	STEP II				
Mould	Thickness	300 mm		220 × 1400 ~ 1820 mm 250 × 1160 ~ 2100 mm	
	Width	Slab	1250-1700mm		1100-1700mm
		Bloom (Twin)	500-700mm		-
Ladle Exchange		Ladle Crane		Ladle Car	
Ladle, Tundish		Slide Gate Nozzle		Slide Gate Nozzle	
Tundish		17 tons (Bath Depth 800mm)		22 tons (Bath Depth 820mm) improvement 35 tons (900 mm)	
Secondary Cooling Control		Digital computer base (distributed CPU control)		Analog controller base	

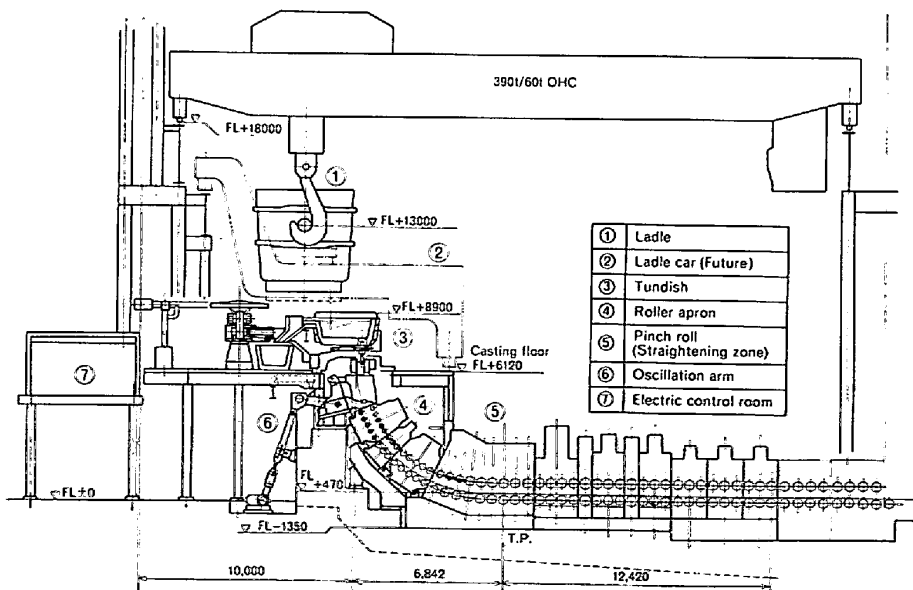


Fig. 2 Sideview of SH-CCM.

業、品質とも安定した生産を継続している。稼動当初は、2シフトにおいて月間 25 kt の生産レベルで推移してきたが、1980年4月からは、STEP II として 250 厚モールドの適用化により 35 kt の生産レベルまで拡大している。将来的には、3シフト操業により月間 50 kt の

生産規模までの拡大を計画している。また、操業要員についてはクレーン操者を含めて7名の少人数で操業を行っている。

Photo. 1 にスラブ及びツィンブルーム鋳造時の操業状態を示す。また、Table 2 には、SH-CCM の操業条件を示す。

Fig. 5 には、稼動以来の月間生産量、ホットチャージ比率、タンディッシュ当たりの連々指数推移を示すが、当初(STEP I) の計画生産量は、稼動後3ヶ月目に達成し、また生産量の 80% 以上はホットチャージスラブとして大形形鋼、熱延工場に直送されており、所内の省エネルギー化、歩留り向上に寄与している。ヒート当たりの鋳造時間は、大型転炉 (250 t) に対して1ストランドマシンであるため No. 1 CCM に比べ2倍以上の 120~150 min の長時間鋳造となっている。このため当初は、溶鋼

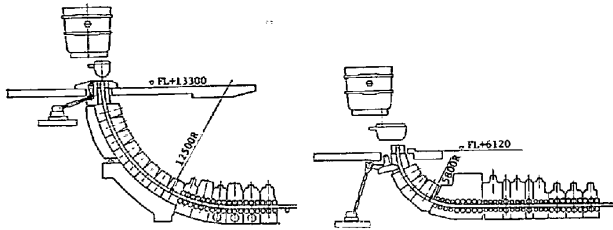


Fig. 3 Profile of SH-CCM compared with No. 1 CCM.

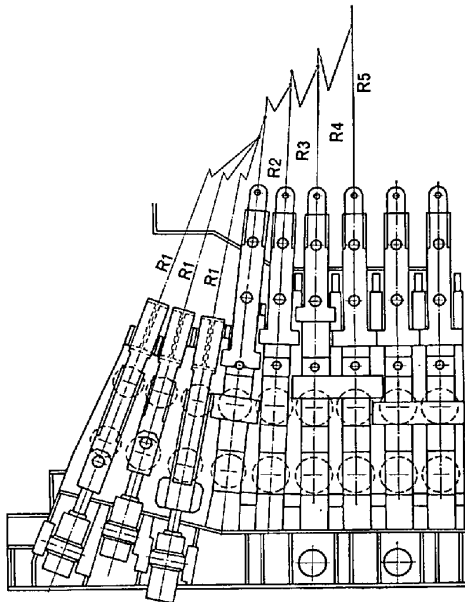
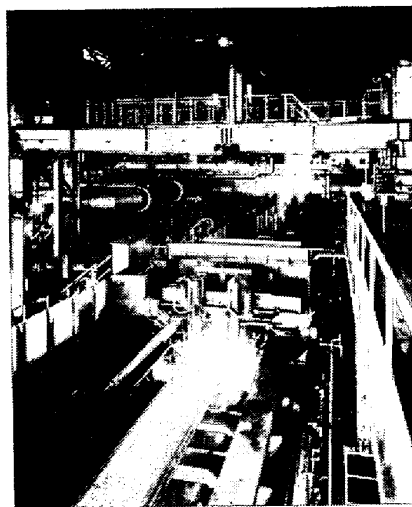


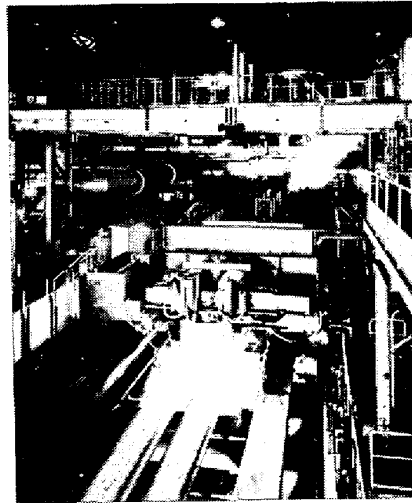
Fig. 4 Straightening zone.

Table 2. Operational specifications of SH-CCM.

Item	Specification
Flow Control from Ladle	Sliding Gate
Ladle stream protection	Ar or N ₂ shrouding
Flow Control from Tundish	Sliding Gate
Material of Immersion Nozzle	Graphitized Alumina or Fused Silica
Lubrication in Mould	Powder Casting
Level Control in Mould	R.I. Method (Co ⁶⁰)
Casting Speed	0.5~0.85 m/min (slab and bloom thickness 300mm) 0.6~0.95 m/min (slab thickness 250mm)
Casting Temperature	Super Heat 20 ~ 30°C
Specific Water Amount	0.4 ~ 1.2 l/kg steel
Method of Cutting	Torch Cutting (propane)
Slab or Bloom Length	5 ~ 10 m (≦ 32 ton)



Slab casting



Twin-bloom casting

Photo. 1 Slab and Twin-bloom casting with SH-CCM.

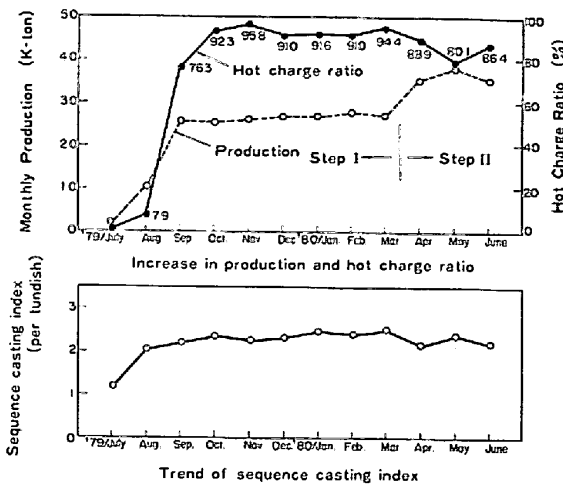


Fig. 5 Increase in production, hot charge ratio, and trend of sequence casting index on SH-CCM.

の温度低下が懸念されたが、種々の保温対策効果により、連々 casting が可能となり 2~3 ヒートの連々 casting を定常化している。また現在までに最大 4 連続 casting までを経験している。この長時間 casting 操業におけるタンディッシュノズル閉塞問題については、取鍋脱酸生成物の浮上対策、取鍋タンディッシュ間の無酸化 casting、溶鋼温度コントロール、浸漬ノズル形状改善などで十分に対処している。

4. 品質

連铸機としての最終評価は、得られる鋳片の品質によって決定されるものである。このため本機においても、事前の検討段階から鋳片の表面疵、内部割れ欠陥、介在物の集積問題などについて、徹底した試験研究を行い、それらの問題に対する設備、操業対策を種々に実施している。その結果、現在までに多くの鋼種について適用化試験を行つているが、既設の大型湾曲連铸機と比較しても品質上まったく遜色のない結果が得られている。以下に SH-CCM における品質概要について述べる。

4.1 表面疵

縦割れ、横割れ、ノロカミ、ピンホールなどの表面疵については、まったく問題のないレベルである。これは、モールド内溶鋼レベルコントロール、モールド内適正フラックスの使用、スラブ表面温度コントロールによる効果と考えている。この結果として、前述した Fig. 5 に示すように高いホットチャージ比率が可能となつている。

4.2 中心偏析

Fig. 6 は、スラブ厚み方向における [C], [S] の中心偏析度を示している。また、Photo. 2 には、スラブ、

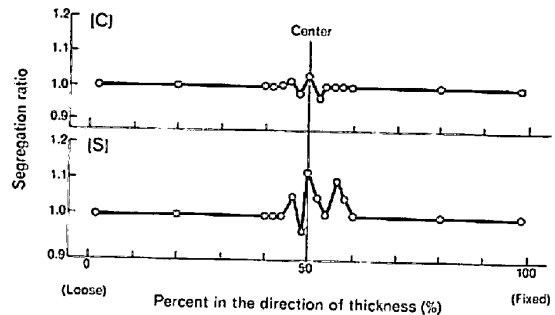


Fig. 6 Distribution of the solute in slab.

ブルームの横断面におけるサルファープリント写真を示す。中心偏析評点は、既設大型湾曲連铸機に比べて改善しており、本機の低機高による溶鋼静圧の減少効果が寄与していると考えている。

また、Photo. 3 には、スラブ縦断面のデンドライト写真を示すが、天側部分は中心部まで柱状晶が発達しているが、地側部分のそれは表面から約 1/4 厚みまでであり、その先は分岐柱状晶が生成している。

4.3 介在物

SH-CCM における介在物の評価は、品質上重要な判定項目の中の 1 つである。本機は、12.5 mR の大型湾曲連铸機と比較し、約 1/2 の 5.8 mR の小湾曲型である。このことは、モールド内での介在物浮上の点からは不利になることは明らかである。しかしながら、モールド内に侵入する介在物の量を減少させることにより、この介在物問題は解決が可能であると考えている。

このため、本機においては、介在物対策として

- (1) モールド内侵入介在物量の減少
- (2) モールド内溶鋼吐出流の侵入深さの減少

などの対策を実施し、鋳片介在物の低減を計つている。

Fig. 7 には、鋳片厚み方向における 50 μ 以上の介在物個数分布を示す。測定は、検鏡法によるものであり、本機との比較として No. 1 CCM の測定結果も示している³⁾。この結果から、SH-CCM の鋳片内介在物レベルは No. 1 CCM のそれと比較しても極端に悪化している傾向はないことが理解できる。また、図中の SH-CCM 鋳片の検出介在物の約 80% は、50~100 μ の比較的小さな介在物径であることが判明している。

SH-CCM 鋳片の清浄性を維持するためには、溶鋼中の全酸素の低減対策が必要であるが、本機における対策内容は以下に示す項目である。

- i) 取鍋底吹きバブリングによる脱酸生成物の浮上化。
- ii) タンディッシュ内における介在物の生成防止と浮上促進として、

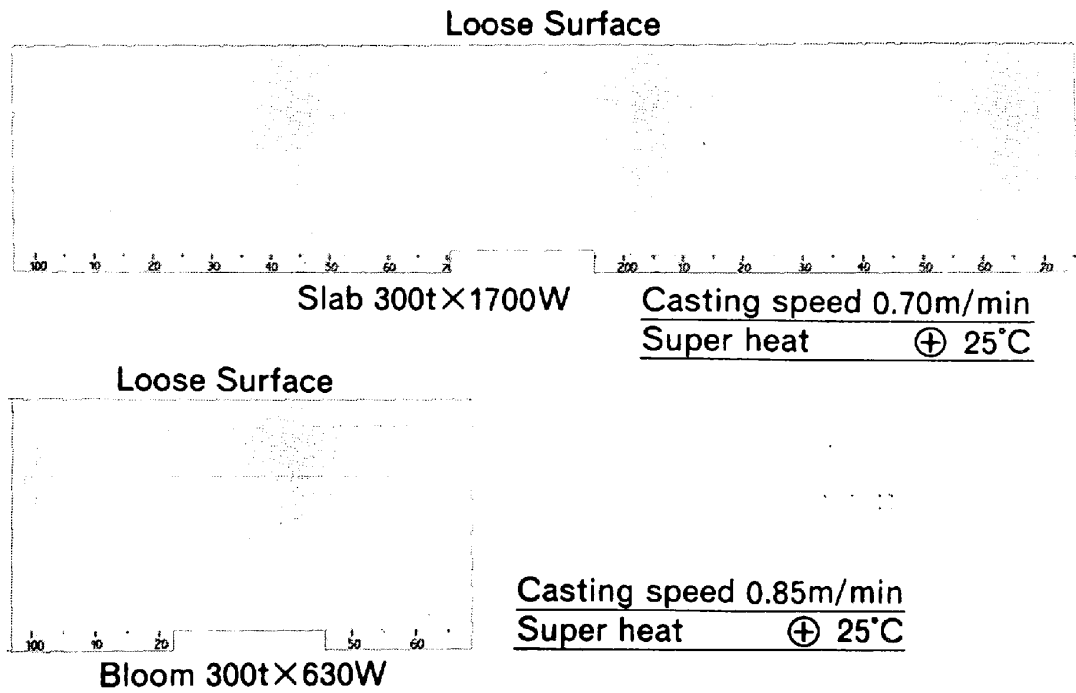


Photo. 2 Sulphur prints of slab and bloom cross section.



Photo. 3 Dendrite etch of slab longitudinal section.

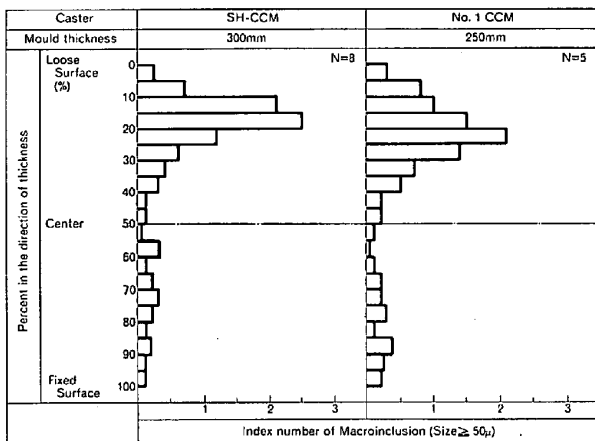


Fig. 7 Distribution of macroinclusion along thickness direction of the slab.

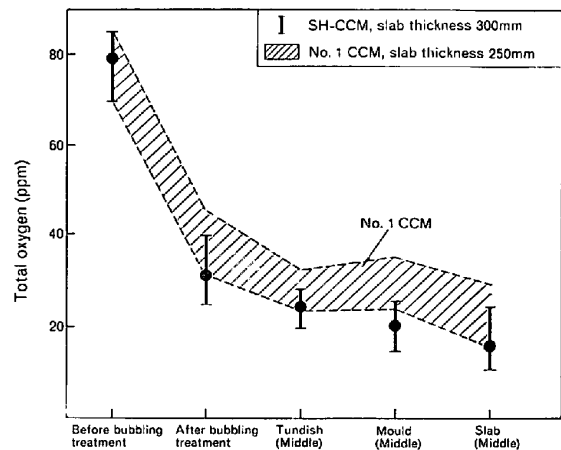


Fig. 8 Behavior of total oxygen at each stage.

- a. 取鍋注入流の Ar ガスシュラウドの実施。
- b. 取鍋スラグの注入抑止
- c. タンディッシュ内の鋼浴深さの確保。
- d. タンディッシュ上ノズルからの Ar ガス吹き込みの実施。

- e. 溶鋼過熱温度の低下防止。(取鍋保温蓋使用.)
- iii) モールド内適正フラックスの使用。
- iv) 適正浸漬ノズルの使用。

Fig. 8 は、各操業過程における全酸素の推移を示すが、SH-CCM 鋳片の介在物を低位に維持するために

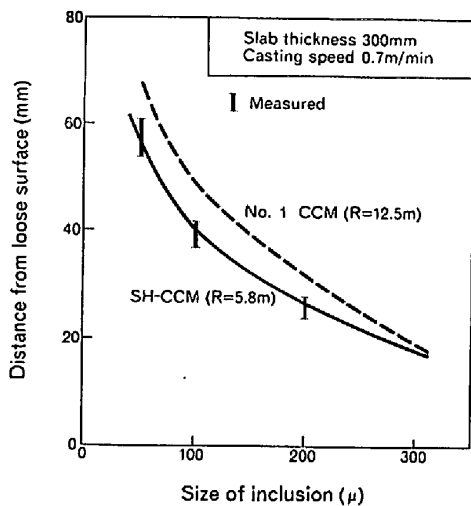


Fig. 9 Calculated values of the position of accumulating inclusions on the strand radius.

は、モールド内へインプットされる前までの全酸化コントロールが重要なポイントとなる。

また、一般的に、湾曲型連铸機における介在物分布は、鋳片厚み方向の天側面に集積することはよく知られており、この傾向は湾曲半径の大きさに強く影響される。Fig. 9 は、介在物の大きさと鋳片の天側表面からの距離の関係について、SH-CCM の実測値と、川井らの「湾曲型区間混合モデル」⁴⁾による計算結果を示したものであるが、この計算結果から、介在物の集積位置は湾曲半径が小さいほど、介在物は鋳片の天側表面寄りに集積することになる。また、この傾向は介在物径が小さいほど強くなることを示している。

4.4 内部割れ

4.4.1 内部割れ発生状況

本機における内部割れは、40 kg/mm² 級鋼、50 kg/mm² 低合金鋼とも、適正な操業条件下では、現在まで全く検出はされていない。

Fig. 10 には、SH-CCM の固液界面での矯正歪みと

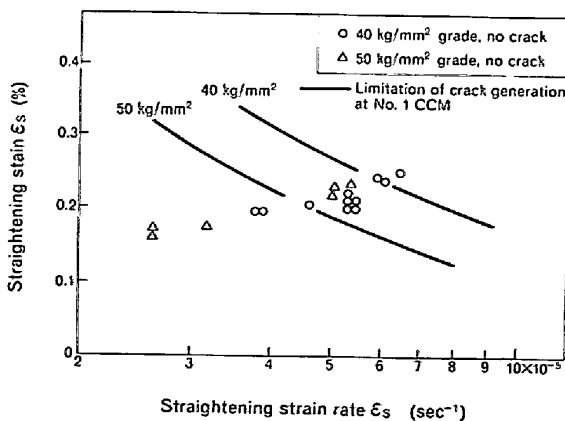


Fig. 10 Condition of internal cracks for SH-CCM.

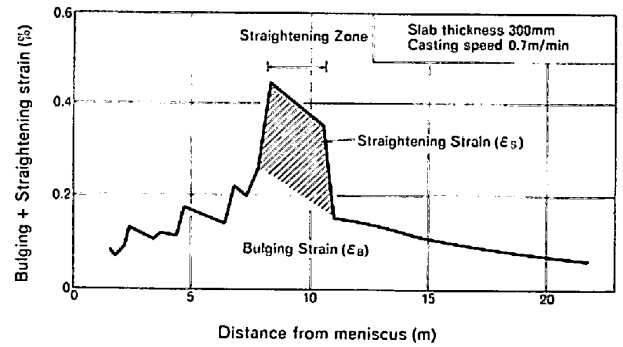


Fig. 11. Calculated values of strain at solid-liquid interface.

歪み速度による内部割れの発生結果を示しているが、内部割れの発生はない。この結果から、5点連続矯正は内部割れに対して十分に歪み分割が行われ得ることを意味しており、ピンチロール矯正帯での矯正歪み分割を含めた設備設計の配慮が効果を発揮していると考えている。また、図中 SH-CCM の 50 kg/mm² 鋼については、No. 1 CCM の割れ発生限界以上の歪みにおいても、内部割れの発生は見られず、多点矯正による歪み分割が内部割れに対して有利になつていくことが理解できる。

4.4.2 固液界面における矯正歪み及びバルジング歪みについて

内部割れは、凝固界面に何らかの要因で許容値以上の引張り歪みが生じた時に、デンドライト間の固液共存層にき裂が生じたものと考えられる。その引張り歪みを生じさせる要因⁶⁾としては、溶鋼静圧のバルジング、ロールアライメント不整、矯正歪み、ロール圧下による歪み、熱応力による歪みなどがあるが、本報では、これらの要因の中の主要因(連铸機の機種に影響される要因)である矯正歪みと、バルジング歪みについて以下に述べる。

矯正歪み(εs)は、一般的に(1)式で計算できる。

$$\epsilon_s(\%) = \left(\frac{D}{2} - d\right) \left(\frac{1}{R_1 - \frac{D}{2}} - \frac{1}{R_2 - \frac{D}{2}} \right) \times 100 \tag{1}$$

- ここで D : スラブ厚 (mm)
- d : 凝固シェル厚 (mm)
- R₁ : 矯正前の曲率半径 (mm)
- R₂ : 矯正後の曲率半径 (mm)

SH-CCM は、小半径湾曲連铸機であるがために、この εs を小さくすることを目的に5点分割矯正としている。

また一方、バルジング歪み(εB)については、両端固

定弾性梁の歪み式を、クリープ変形を考慮しない熱弾塑性応力解析結果から簡略化した簡便式⁶⁾(2)で計算できる。

$$\epsilon_B(\%) = \frac{P}{3800} \left(\frac{l}{d} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

ここで P : 溶鋼静圧 (kg/mm²)
 l : ロールピッチ (mm)
 d : 凝固シェル厚 (mm)

この(1)式と、(2)式から、SH-CCMにおける矯正歪み、バルジング歪みをそれぞれ計算し、メナスカスからの位置別に表示した結果を、Fig. 11に示す。この結果から、本機の各矯正点での矯正歪みはほぼ一定となっており、また、バルジング歪みは、最大でも約0.25%の値となつている。この矯正歪みとバルジング歪みによる最大歪みは、0.45%になつている。

Fig. 10の実測(内部割れ発生)結果と、Fig. 11の矯正歪み分布から、5点分割矯正による矯正歪みの分割効果は期待どおりであり、矯正歪みの蓄積は生じていないことが理解できる。

5. 結 言

SH-CCMと呼ばれている新連続铸造設備は、1979年

7月に、鹿島製鉄所第一製鋼工場において稼動を開始した。

(1) この連铸機は、低機高多点矯正型湾曲連铸機であり、同工場内の旧造塊棟に安価な設備費で建設された。

(2) 稼動後操業は順調に推移し、現在は大形形鋼、熱延素材を主体に月間35ktを生産しており、その中の80%以上はホットチャージとして直送している。

(3) また、この新連铸機は、設備、操業面において種々の改良、改善が施されており、その铸片品質は同所の大型湾曲連铸機(No. 1 CCM)と比較しても、まったく遜色のないレベルのものが得られている。

文 献

- 1) 梅田洋一, 杉谷泰夫, 石村 進, 中井 健: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 243
- 2) Mannesmann Patent 704894
- 3) 植田嗣治, 丸川雄浄, 豊田 守: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 943
- 4) 川井俊彦, 安元邦夫, 池田隆果: 学振 19 委資料 (1974年5月15日)
- 5) 古茂田敬一: 第 27・28 回西山記念講座, p. 214
- 6) 加藤一郎, 森田喜保, 河嶋寿一, 中村正宣: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 192