

技術報告

UDC 621.746.27.047

## 薄板材の高速鑄造\*

三好 俊吉\*\*・内堀 秀男\*\*・福武 諄\*\*

## High Speed Casting of Sheet Grade Steel

Shunkichi MIYOSHI, Hideo UCHIBORI, and Atushi FUKUTAKE

## Synopsis:

Some types of strand guidances of continuous casting machine have been arranged below the mold, and their adaptability to the high-speed casting have been examined.

The following results are obtained.

- 1) The cooling plate set below the mold is a superior strand guidance method. But its cooling ability is insufficient.
- 2) The cooling grid is a satisfactory equipment for both slab supporting and slab cooling ability.
- 3) Therefore, for the high-speed casting operations of sheet grade steel, the cooling grid or the combination of cooling plate and cooling grid is the most suitable method of slab guidance below the mold.

(Received Nov. 21, 1973)

## 1. 結 言

急激な進歩をとげてきた連続鑄造法は、今日では大型転炉との組み合わせによつて能率よく、すぐれた品質のスラブを安定して生産するにいたつた。比較的断面形状の小さい薄板用スラブでは、大型転炉と組み合わせるために高速鑄造を行ない、鑄造時間の短縮をはかり、転炉の吹錬ピッチに合わせる必要がある。しかし、高速鑄造に関しては

1. モールド直下でのシェルが薄いことに起因するブレイクアウトの危険性に対処するための設備、および操業技術に関する研究
  2. 高速鑄造下において良品質スラブを得るためのモールドパウダー、浸漬ノズルの研究
- などの必要があるが、ここではとくに前者のうちモールド直下の設備、すなわち、凝固シェルを十分に発達させしかも正しく支持するストランドガイダンスについて種々の研究を行なつたのでこれについて報告する。

## 2. 設備および調査方法

## 2.1 設 備

## 2.1.1 設備概要

調査には concast 式スラブ連鑄機を使用した。その諸元を Table 1 に示す。なお、製鋼炉は 250 t LD 転炉である。

Table 1. Principal particulars of the continuous casting machine investigated.

Designer	Concast
Machine type	Concast S-type 2 strand Slab caster
Machine radius	10.5m
Casting slab size	Width 950~1 600 mm Thickness 220 mm
Mold	Plate mold Adjustable mold
Length of spray cooling zone	15m
Total length of solidification	27m
Pinch roll unit	Multi pinch roll Withdrawal speed. 2.0m/ min Max.

## 2.1.2 モールド直下のストランドガイド方式

ストランドガイド方式としては、ロール方式、クーリングプレート (C.P)\*方式、およびクーリンググリッド (C.G)\*方式を用いた。これらの機構および特徴を Fig. 1 に示す。ここでスラブ支持率は {(スラブ支持面積)/

\* 昭和48年11月21日受付

\*\* 日本鋼管(株)福山製鉄所

	Sketch			Percent of slab area covered with spray water	Percent of supported slab area	Withdrawal resistance
Roll				13.7%	3.0%	Little
Cooling plate				3.7%	89.3%	Big
Cooling grid				25.6%	56.3%	Middle

Fig. 1. Peculiarity of each strand guidance.

Conventional practice	A	B	C	D
Cooling plate —	3	—	1	3
Cooling grid —	—	3	2	3
Roller apron ○	○	○	○	—

Fig. 2. Mechanical layout of strand.

(ストランドガイド長さに相当するスラブ表面積)} × 100 で示す。なお、ロール方式の場合はロールがスラブに接する幅を 5 mm と仮定した。二次冷水カバー率は {二次冷却水噴射面積} / (ストランドガイド長さに相当するスラブ表面積)} × 100 で示す。

ロール方式における冷却機構はロール間に配列された

二次冷却水ノズルで、スラブ幅方向に広がるフラット・アトマイズ方式のものを用いた。クーリング・プレート方式における冷却機構はモールドと同じ間接冷却と直接冷却で構成されたものである。クーリング・グリッド方式の冷却機構は格子窓にノズルを取り付けた直接冷却方式で、このノズルは円錐状に広がるフル・コーン型であ

る。スラブ支持率ではクーリング・プレートが最も優れており、二次冷却水カバー率ではクーリング・グリッドが最も優れている。しかし、引抜抵抗はクーリング・プレートが最も大きい。

以上のような特徴を持つストランド・ガイド方式を組合わせ、Fig. 2 に示す5つの方式で、高速铸造下 (1.4, 1.6, 2.0 m/min) における比較調査を行なった。

#### (1) コンベンショナル方式

モールド直下のゾーン1の部分にロール6本を配列し、ゾーン2の部分には5本のロールを配列したものである。スラブ支持率が小さいことから1.0 m/min以上の铸造には使用しなかつた。

#### (2) A方式

モールド直下のゾーン1の部分にクーリング・プレートを3段配列し、ゾーン2にはロールを配列したものである。モールド直下のスラブ支持は大きい。

#### (3) B方式

モールド直下のゾーン1にはクーリング・グリッドを3段に配列し、ゾーン2にはロールを配置したものである。

#### (4) C方式

A方式とB方式の折衷方式である。ゾーン1の最上段をクーリング・プレートとし2段目以降をクーリング・グリッドとしたものである。

#### (5) D方式

ゾーン1の部分はA方式と同じであるが、ゾーン2の部分をクーリング・グリッド3段を配列したものである。引抜抵抗は大きくなる。

### 2.2 調査方法

各ストランドガイド方式における調査項目および調査方法をTable 2に示す。凝固シエルの成長状況の把握にはオート・ラジオグラフ法による凝固シエル厚測定法を用いた。計画した铸造速度でモールド内溶鋼にRIトレーサー ( $Au^{198}$ ) を添加し、铸造スラブからオートラジオグラフを得てメニスカスからガイドロールにいたるまでの凝固シエルの形成と発達状況を調査した。RIの拡散速度は速いことから、拡散遅れによる凝固シエル厚みの誤差は無視した。また、オート・ラジオグラフの試料採取は一般にシエル厚みの薄いスラブコーナー近くで行なつた。Fig. 3に試料採取位置を示す。

ストランドガイドの耐久性調査のため摩耗量の測定を行なった。5ヒートごとのストランド間隔の拡がり測定し摩耗量とした。

スラブ品質に関しては、アズキャストあるいは2 mm スカーフ後の目視観察による表面傷調査、マクロエッチ

Table 2. Items and method of investigation.

Items of investigation	Method
Solidification process of each strand guidance	Addition of radio isotope ( $Au^{198}$ )
Abrasion of each strand guidance	Measurements of distance between inner radius and outer radius
Quality of slab	Observations of surface and internal qualities

Table 3. Casting results of test heats.

Casting speed	1.4~2.0 m/min
Steel grade	Low carbon Al killed for sheet and strip grade
Slab size	220 × 1250 mm
Primary cooling	Narrowface of mold 300~350 l/min Wideface of mold 1700~2000 l/min
Secondary cooling	1.3~2.0 l/kg
Steel Temp. in Tundish	1535°C ~ 1550°C

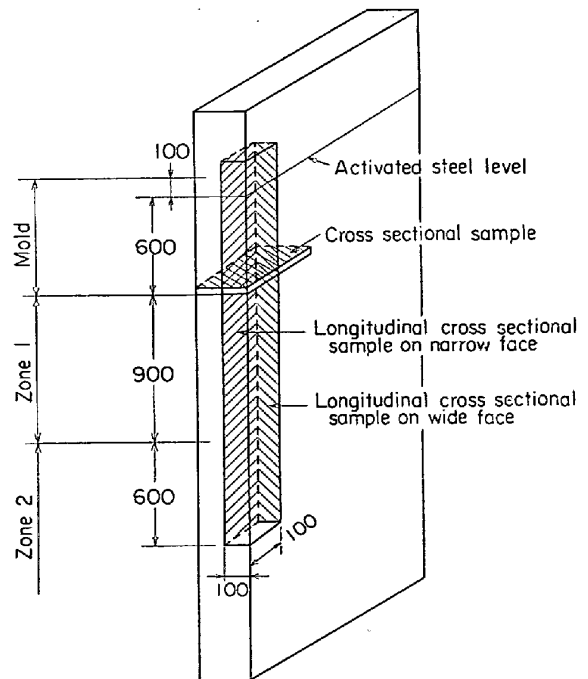


Fig. 3. Samples for autoradiograph of cross section and longitudinal section in strand.

およびサルファープリントによる内質調査を行なった。

Table 4. Thickness of solidified shell in strand at various casting speeds.

Test step	Trial No	Casting speed (m/min)	At end part of mold		At middle part of zone 1		At end part of zone 1		At middle part of zone 2	
			Wide face	Narrow face	Wide face	Narrow face	Wide face	Narrow face	Wide face	Narrow face
A	7	1.4	10.0	9.0	16.0	15.0	20.0	19.0	27.6	25.2
	8	1.6	10.0	8.0	15.0	14.0	20.0	19.0	24.2	22.4
	11	2.0	9.0	9.0	13.0	13.0	17.0	17.0	25.6	21.6
B	20	1.4	12.0	11.0	18.0	16.0	24.5	20.5	30.5	25.5
	21	1.6	7.0	6.5	14.0	13.0	21.0	17.5	29.0	24.0
C	22	1.4	10.5	10.0	17.0	15.0	22.0	21.0	30.0	27.0
	23	1.6	10.0	9.5	15.5	15.0	21.0	20.0	29.5	26.5
	24	2.0	9.5	9.0	15.0	14.5	19.5	19.0	27.5	24.5
D	12	1.4	10.5	11.5	15.5	15.5	21.5	20.0	29.0	25.0
	14	1.6	9.5	9.5	16.0	15.0	21.0	19.0	28.0	25.0
	16	2.0	9.5	8.0	15.0	13.0	18.5	17.0	26.0	23.0

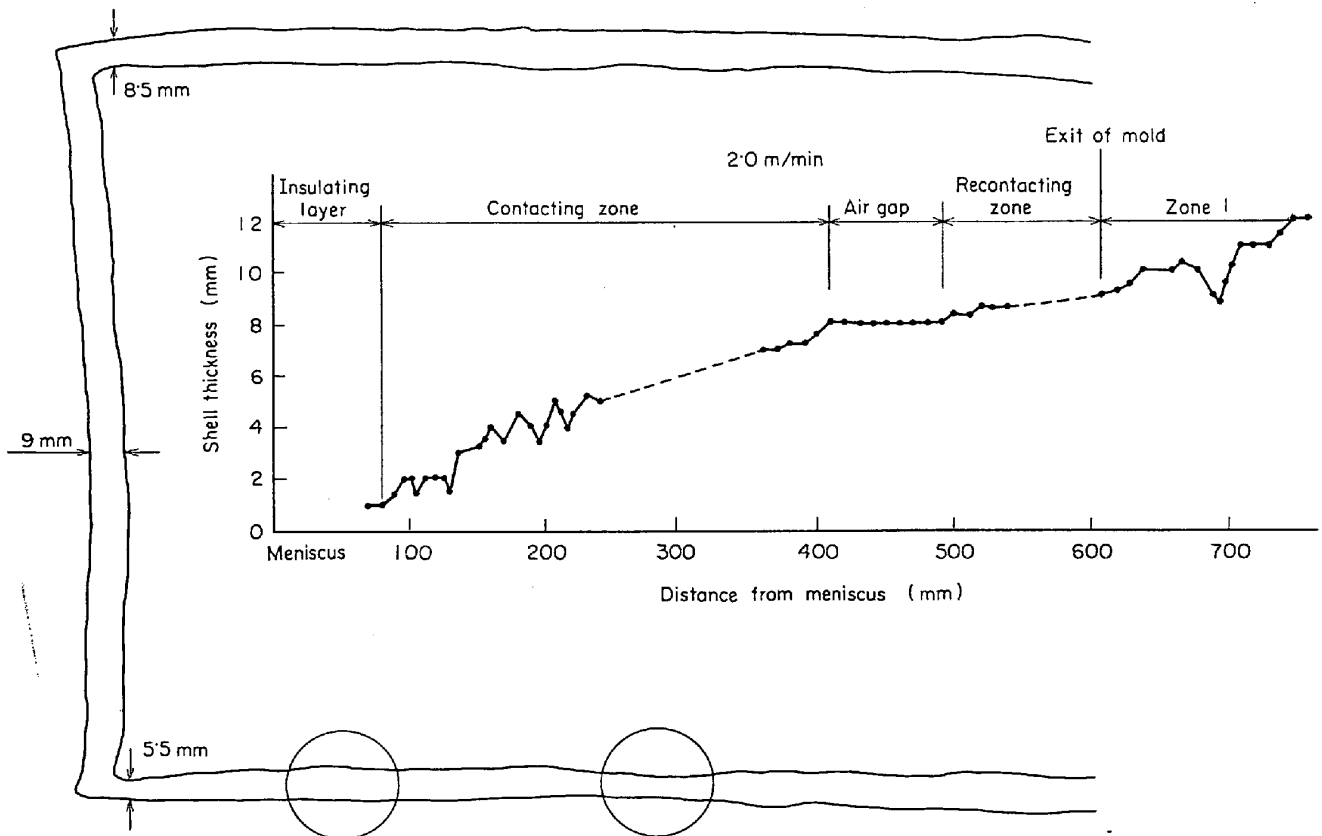


Fig. 4. Shell thickness (Trial 24).

### 3. 調査結果および考察

#### 3.1 鋳造

各ストランドガイド方式とも複数回のテストを重ね、合計 24 ヒートの試験を行なった。Table 3 に鋳造記録を示す。種々の予備テストを行ない、高速鋳造に適する

浸漬ノズル、モールド・パウダー、二次冷却水量、モールドオシレーション特性、モールドテーパー、ピンチロール押し付け圧力などの鋳造条件を定め、鋳造速度別に条件は一定とした。ただし、モールド直下のストランドガイドの冷却水量はそれぞれの持つ特性により変えた。

3.2 モールド出側およびストランドガイド内における凝固シェル厚み

Table 4 にストランドガイド方式別、鑄造速度別の凝固シェル厚みを示す。モールド直下における凝固シェル厚みは鑄造速度が増すと減少し、また、モールド直下での横断面のシェル厚みは Fig. 4 に示すように全断面にわたって均一ではなく、かなりの片寄りがある。モールド内の凝固シェルの発達状況をみると成長が急激であるところ、あるいは成長が停滞しているところがみられる。シェルの不均一を招く一要因として、モールド銅板と凝固シェルとの接触がつねに変化していることが考えられるが、そのほかにも

(1) 鑄造中に浸漬ノズルから吐出される溶鋼流の乱れ

(2) モールドパウダーの不均一な流れ込みなどが挙げられる。

モールド直下での凝固シェルは上述のように横断面では多少の不均一な厚みを伴うが、ストランド・ガイド内においてはいずれの方式でもシェルの不均一性は緩和される。これはいずれの方式でも直接冷却水を使用するため冷却が一樣に行なわれる結果と考えられる。

3.3 ストランド・ガイド内における凝固速度

ストランド・ガイド内における凝固速度を比較するために凝固係数を求めた。

凝固式は(1)式で定義した。

$$D_i = K_p \sqrt{T_i} + C \quad \dots\dots\dots (1)$$

$D_i$ :  $i$  点における凝固シェル厚み (mm)

$T_i$ :  $i$  点までの経過時間 (min)

$K_p$ : 部分凝固係数 ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ )

$C$ : 定数

$i$  をできるだけ多く取り、最小自乗法で各ゾーンの  $K_p$  を求めた。Table 5 にその結果を示す。表中、Total  $K$  はメニスカスから 2m (ゾーン 2 の中央) までの平均凝固係数である。

つぎに二次冷却水強度と平均凝固係数の関係を Fig. 5

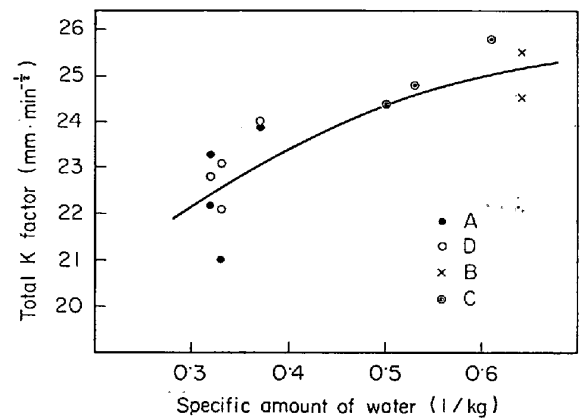


Fig. 5. Specific amount of secondary cooling water and total K factor at 2.0m from meniscus.

Table 5. Solidification constants under various cooling conditions.

Test step		A			B			C			D		
Mechanical layout													
Casting speed (m/min)		1.4	1.6	2.0	1.4	1.6	/	1.4	1.6	2.0	1.4	1.6	2.0
$K_p$	Zone 1	24.5	29.2	27.5	32.8	36.8	/	28.9	29.9	32.3	—	28.8	29.0
	Zone 2	36.3	59.8	48.3	34.4	47.3	/	47.9	55.2	51.6	49.0	42.5	45.1
Total K	At 2.0m from meniscus	22.2	21.0	23.9	25.5	25.4	/	24.4	24.8	25.8	22.8	22.1	24.0
		23.3											

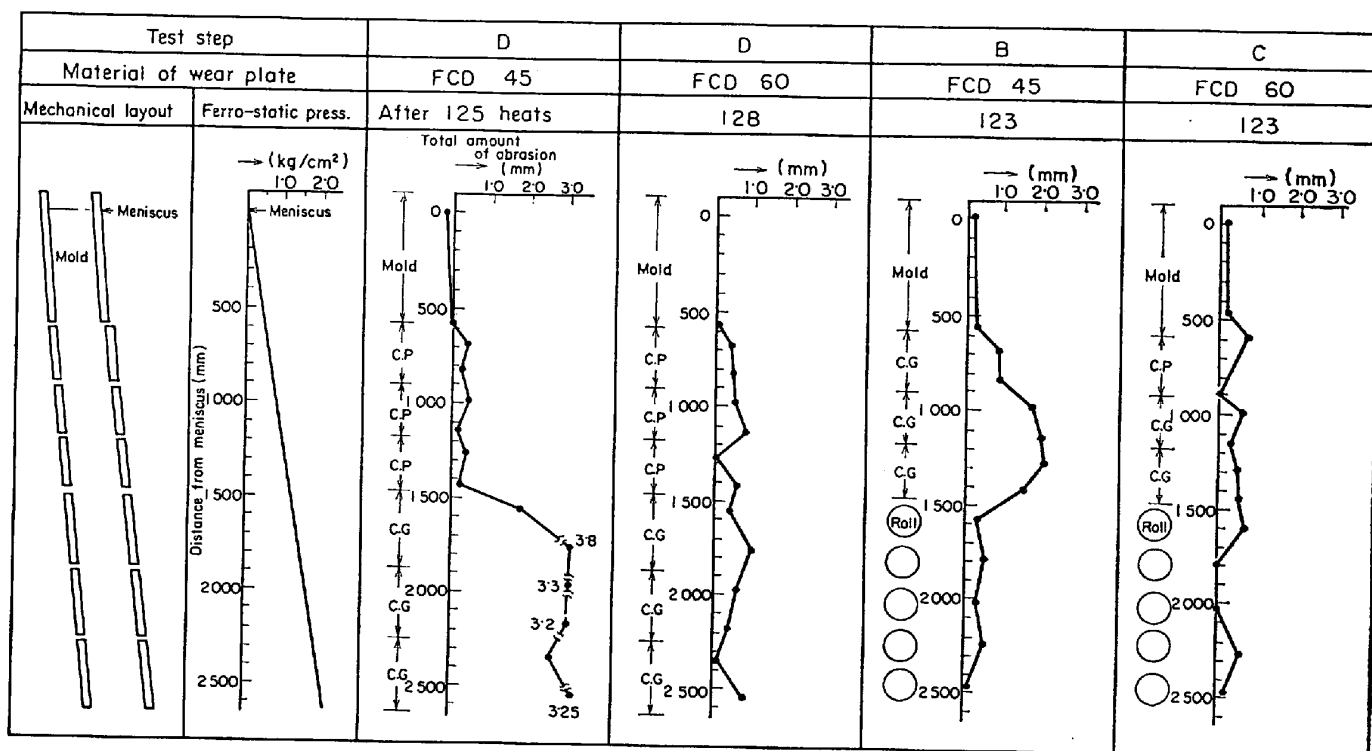


Fig. 6. The abrasion of the wear part after campaign of casts.

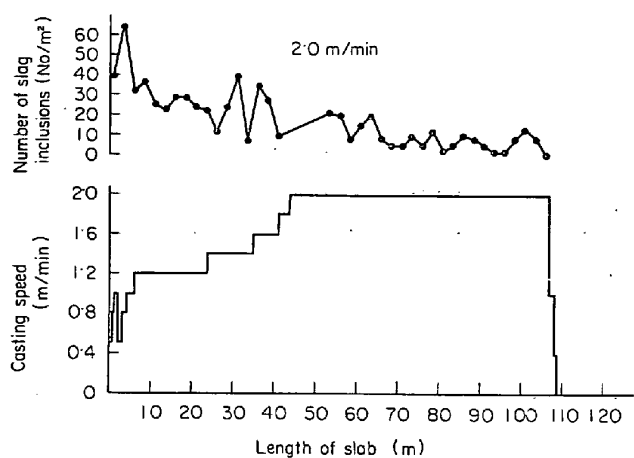


Fig. 7. Slag inclusions on surface and casting speeds.

に示す。この図から明らかのように凝固速度はストランドガイド方式に関係なく、二次冷却水量に依存している。

### 3.4 ストランドガイドの摩耗量

凝固シェルの支持および冷却能力がいかに優れていても多数ヒートに耐えうるストランドガイドでなければ実用性に欠ける。各方式における摩耗量の調査結果をFig. 6に示す。

クーリング・グリッドの材質に FCD 45 および FCD 60 を用いたが、硬度の高い FCD 60の方が摩耗量は少なく、実用に耐えうる。

### 3.5 スラブ品質

#### 3.5.1 スラブ表面欠陥

溶融スラグのまき込みによるスラブ表面欠陥と鋳造条件の関係を Fig. 7 に示す。このスラグによる表面介在物は鋳造速度が速いほど少ない。これは鋳造速度が速いほどモールド内の溶鋼の滞留時間が短い。そのため溶鋼表面の温度低下が比較的小さく、かつ、均一な温度分布を示すためと考えられる。

#### 3.5.2 スラブ表面割れ

スラブの表面縦割れおよび横割れはすべてのテストを通じてほとんど観察されなかった。

#### 3.5.3 内部割れ

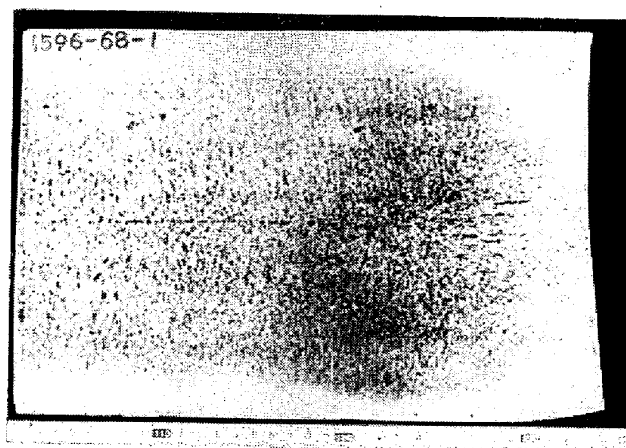


Photo. 1. Macro-etched figure of cross-section.

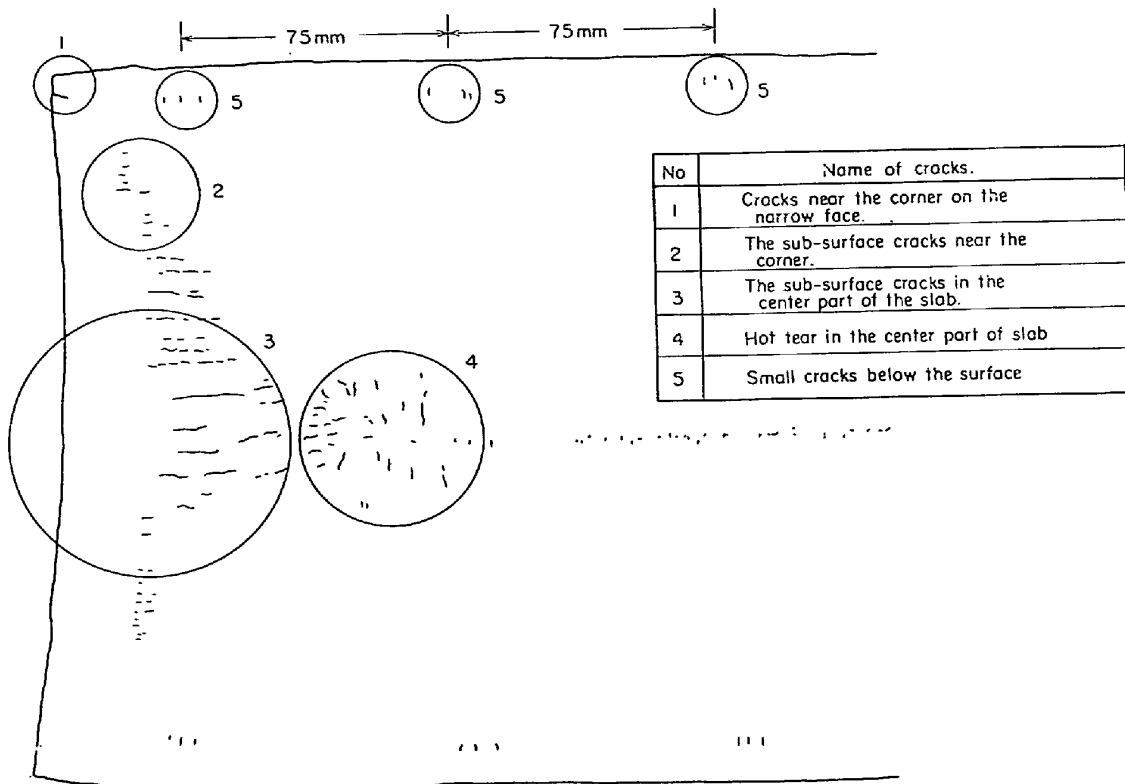


Fig. 8. Classification of internal cracks.

Photo. 1 にスラブ断面のマクロエッチを示す。詳細な調査の結果、微小な割れが認められたのでこの発生原因につき検討を行なった。Fig. 8 にその概要図を示す。

- No. 1 : スラブ短辺近傍に現われる割れで、時として表面にまで達することがある。これは短辺のバルジングによつて生じ、モールドテーパーの小さすぎ、あるいはモールド下端でのスラブ短辺支持の不適切、あるいは冷却不足などに起因する。
- No. 2 : 短辺表層下 10~20 mm のところに現われる小さい割れで、とくに鑄造速度が増大すると観察される場合がある。これはストランドガイド上部の冷却が強すぎるためである。
- No. 3 : 短辺面表層下 30~100 mm のところに発生する割れで、ゾーン 1、ゾーン 2 の短辺冷却が強すぎると発生しやすい。これも冷却のアンバランスに起因すると考えられる。
- No. 4 : 短辺側の最終凝固部近傍に現われる割れである。
- No. 5 : 長辺側表層下約 10 mm 程度のところにほぼ同一ピッチで観察される小さい割れで、これはクーリングプレートを使用した場合のみ観察された。割れの発生位置がほぼクーリングプ

レートの二次冷却水孔と同じピッチであることからクーリングプレートの二次冷却水による局所的な過冷却に起因すると考えられる。

以上のような調査をもとに、マシンアライメント、二次冷却水などの適正な対策をとることによりこれらの内部割れはほとんど防止することができた。

#### 4. 結 言

高速鑄造時のモールド直下のストランド・ガイドにクーリング・プレート、クーリング・グリッドおよびそれらの折衷方式を使用し、その特徴を調査した結果、つぎの結論を得た。

1. モールド直下のストランドガイドランスとしてクーリングプレートは凝固シェルの優れた保持方法である。また、モールド直下の不均一なシェル厚みを均一に発達させる機能を有しており、2.0m/min の高速鑄造が可能である。しかし、冷却能力が若干低い難点がある。
2. クーリンググリッドはクーリングプレートと同様に満足すべきシェルの保持機能を持ち、構造上強い冷却能力を有していることから高速鑄造に適したストランドガイドランスである。
3. ストランドガイドランス内での冷却能力は二次冷却水量に依存する。

4. クーリンググリッドの耐用回数は適切な材質選定により向上し、操業上問題ない。

5. 高速鋳造によりスラブ表面性状は向上する。また内部割れも適正な対策により防止できる。

以上の調査結果より、薄板用スラブの高速鋳造の場合

ストランドガイダンスとしてクーリンググリッドあるいはクーリングプレートとクーリンググリッドの組合せが最も優れた方法である。

\* Concast 社特許