

## 技術報告

ステンレス鋼のオシレーションマーク性状  
におよぼす鋳型振動条件の影響

竹内 英麿\*・松村 省吾\*・日高 良一\*  
長野 裕\*<sup>2</sup>・鈴木 康夫\*

Effects of Mould Oscillation Conditions on Oscillation Marks of  
Stainless Steel Casts

Hidemaro TAKEUCHI, Shogo MATSUMURA, Ryoichi HIDAKA  
Yutaka NAGANO, and Yasuo SUZUKI

## Synopsis :

Oscillation marks formed on the surfaces of continuously cast stainless steel slabs are one of the factors that hinder the use of unconditioned slabs. Therefore, the effects of mould oscillation conditions on oscillation marks have been investigated using a Continuous Caster Mould Simulator.

Following results have been obtained through the experiments.

1) A crescent-shaped extended surface is formed in the valley of an oscillation mark on a SUS 304 solidified shell and an unusual solidified structure is generated in the upper part of this extended surface. The unusual solidified structure is found to be a layer of Ni-segregation.

2) When the negative strip ratio is positive, the shorter the heal time ( $\theta_h$ ), the shallower the oscillation mark depth.

3) Oscillation marks are formed even at  $\theta_h=0$  and when the negative strip ratio is negative, the shorter the stroke, the shallower the oscillation mark depth.

## 1. 緒 言

## 2. 実験方法

連続鋳造では、鋳型と凝固殻の間の摩擦を軽減し、焼付きを防止するために、潤滑剤としてパウダーを使用すると同時に鋳型振動をさせる必要があり、そのためオシレーションマークが生成する。これらのオシレーションマークを起点として、連鋳々片表面に縦割れ<sup>1)</sup>あるいは横割れ<sup>2)~4)</sup>などの欠陥が発生する場合がある。特に、ステンレス鋼連鋳々片表面に生成するオシレーションマークは、微小割れ、パウダーの巻き込みおよび成分偏析を伴う欠陥であり、ステンレス鋼連鋳々片の無手入化を行うためには、オシレーションマーク谷部欠陥の軽減が不可欠である。

そこで、ステンレス鋼のオシレーションマーク性状におよぼす鋳型振動条件の影響を、連鋳鋳型シミュレーターを用いて広範囲に実験調査し、オシレーションマーク性状を改善する適正鋳型振動条件を見出したので報告する。

## 2.1 実験装置

Fig. 1 に連鋳鋳型シミュレーターの概略図を、Table 1 に設備仕様を示す。本実験装置は、溶鋼中に振動している水冷銅板を浸漬し、連鋳ダミーバーに相当するキャップを降下させることにより銅板面での凝固殻の生成および引き抜きを行うもので、所定距離降下後鋳型に相当する水冷銅板とともに凝固殻を瞬間的に引き上げてオシレーションマークの生成状況を知ることができる。実験方法を Fig. 2 に示す。110 mmR の凸面を有する 50×100 mm<sup>2</sup> 断面の凸面鋳型に、鋳型凸面部が露出するように窓を開けた箱型のキャップを挿入する。キャップは砂型で被覆されている。キャップを挿入した鋳型を、一定厚みのパウダーで覆った溶鋼中に浸漬し鋳型をサインカーブでオシレーションさせながら、キャップを一定速度で押し下げて鋳型面壁のメニスカスで凝固殻を生成させる。湯面を一定に保つためにキャップと同断面積を有するダミーブロックをキャップの下降速度と同期させて

昭和 56 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 2 月 15 日受付 (Received Feb. 15, 1982)

\* 新日本製鉄(株)光製鉄所 (Hikari Works, Nippon Steel Corp., 3434 Oaza-Shimada Hikari 743)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)生産技術研究所 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp.)

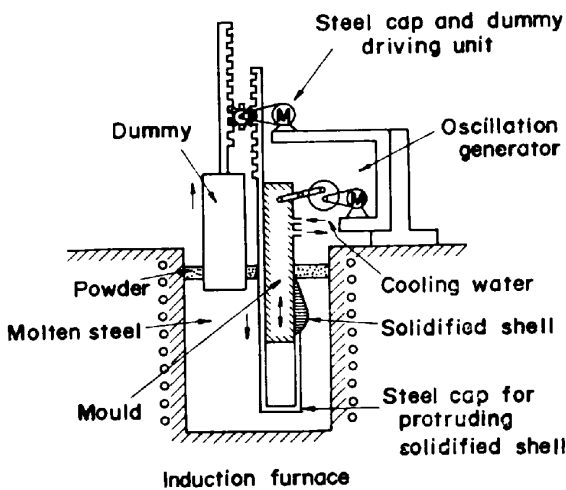


Fig. 1. Schematic diagram of continuous caster mould simulator.

Table 1. Specification of continuous caster mould simulator.

Solidified shell size	100 × 300 mm
Mould oscillation	
Stroke length	0 ~ 30 mm
Frequency	0 ~ 500 cpm (< 30 mm) 0 ~ 1000 cpm (< 10 mm)
Mode	Sinusoidal motion
Cap protruding speed	0.5 ~ 5 mm/min
Mould cooling water	250 ℓ/min
Capacity of melting furnace	750 kg (420 mm φ × 800 mm ℓ)

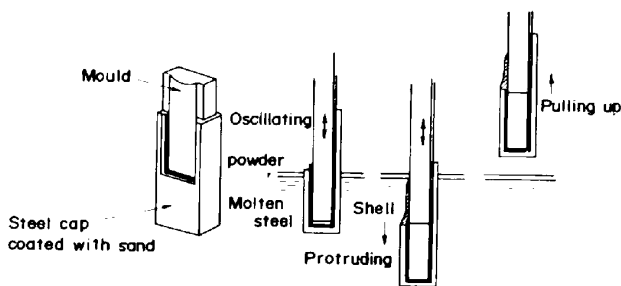


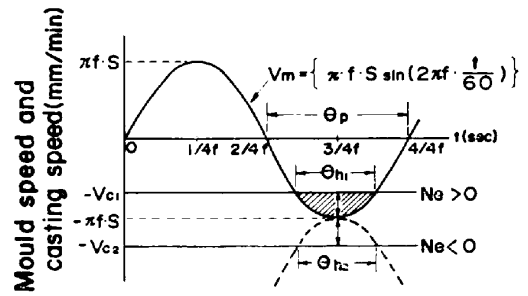
Fig. 2. Experimental procedure.

引き上げる。

キャップが約 250 mm 下降した時点で自動的に鑄型、キャップおよびダミーブロックを台車とともに溶鋼中から瞬時に引き上げて試験を完了する。

2.2 実験条件

Table 2 に実験条件を示す。SUS 304 溶鋼を用い、引き抜き速度に相当するキャップ下降速度を 1000 mm/min 一定とし、オッシレーション条件は、サイクル数を



S: Stroke length(mm) f: Frequency(cpm) V<sub>m</sub>: Mould speed(mm/min) V<sub>c</sub>: Casting speed(mm/min) θ<sub>h</sub>: Heal time(s) N<sub>e</sub>: Negative strip ratio

Fig. 3. Relation between mould speed and casting speed.

30~500 cpm, ストロークを 3~8 mm と広範囲に変えて、オッシレーション条件とオッシレーションマーク性状との関係を調査した。オッシレーション形式およびオッシレーション条件の表示方式を、Fig. 3 に示す。オッシレーション形式は、サインカーブ方式を採用し、ネガティブストリップ率 (N<sub>e</sub>) およびヒールタイム (θ<sub>h</sub>) でオッシレーション条件を表示した。ただしネガティブストリップがない場合、数値化して分かりやすくするため -πfS で線対称にして、θ<sub>h2</sub> を求めネガティブストリップ域で計算し負で表した。

ネガティブストリップのある場合とない場合の N<sub>e</sub> と θ<sub>h</sub> の計算式を(1)(2)(3)と(4)式に示す。

1) ネガティブストリップのある場合 (V<sub>c1</sub>/πfS < 1)

$$N_e = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( -\frac{V_{c1}}{\pi f S} \right) \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_{h1} = \frac{60}{\pi f} \cos^{-1} \left( \frac{V_{c1}}{\pi f S} \right) (s) \dots\dots\dots (2)$$

2) ネガティブストリップのない場合 (V<sub>c2</sub>/πfS > 1)

$$N_e = \frac{2}{\pi} \left\{ (n-2) + \cos^{-1} \left( n - \frac{V_{c2}}{\pi f S} \right) \right\} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta_{h1} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

ここで V<sub>c</sub>; 引き抜き速度 (mm/min)

f; オッシレーションサイクル (cpm)

S; オッシレーションストローク (mm)

n; V<sub>c</sub>/πfS の切り上げ整数

3. 実験結果

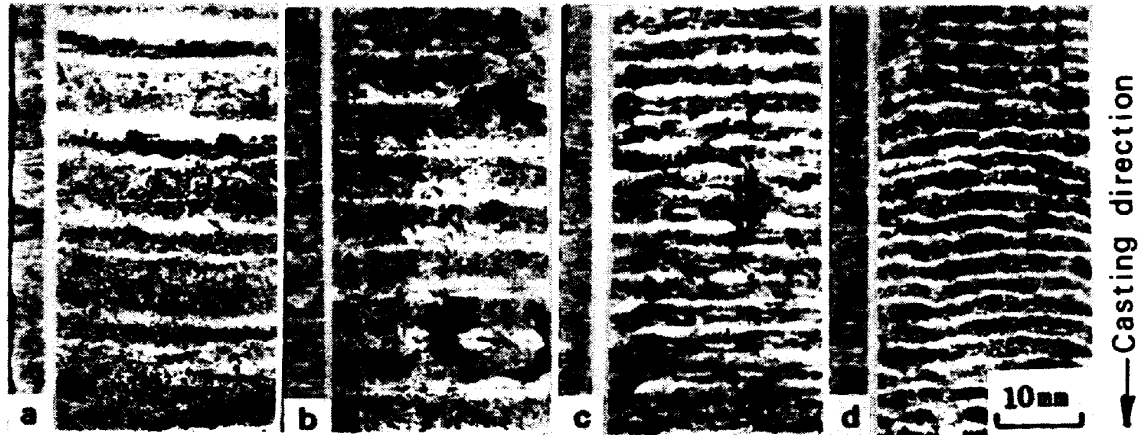
3.1 オッシレーションマークの形態

3.1.1 オッシレーションマーク 外観形状と 鑄型振動条件との関係

オッシレーションマーク外観形状におよぼすサイクル数の影響を Photo. 1 に、ストロークの影響を Photo. 2 に示す。オッシレーションマーク間隔は、サイクル数

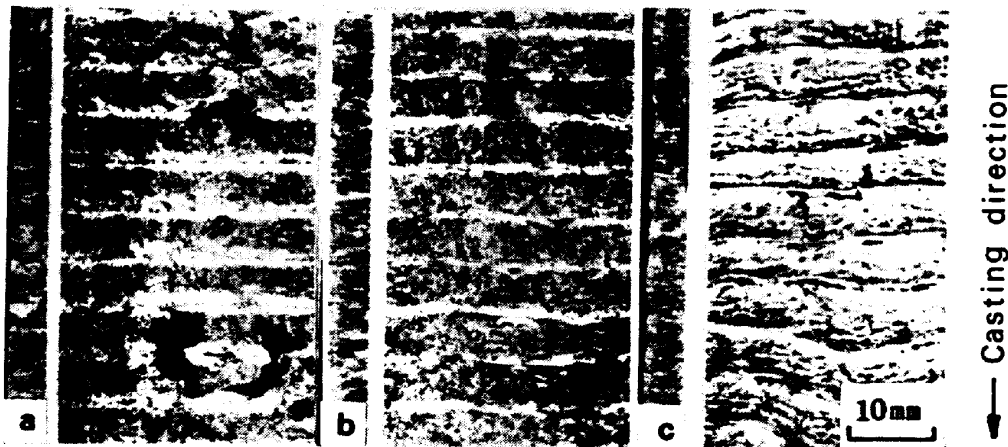
Table 2. Experimental conditions.

Grade	Protruding speed	Oscillation conditions				Powder	
		Frequency	Stroke length	Negative strip ratio	Heal time	Viscosity	Melting point
SUS 304	1 000 mm/min	30~500 cpm	3~8 mm	-229~88% (time ratio)	0~0.25 sec	1.6 poise at 1 300 C	1 030 C



Frequency a) 50 b) 100 c) 200 d) 300 cpm Stroke=3mm, Casting speed=1 000mm/min  
Left : Longitudinal-section, Right : Surface.

Photo. 1. Change of oscillation mark formed under different frequencies.



Stroke a) 3 mm b) 5 mm c) 8 mm Frequency=100cpm, Casting speed=1 000mm/min  
Left : Longitudinal-section, Right : Surface.

Photo. 2. Change of oscillation mark formed under different stroke lengths.

が大きくなる程小さくなる。ストロークが長くなるにつれてオシレーションマーク深さは、深くなる傾向が認められ、さらにオシレーションマーク間に小さな湯じわが観察された。Photo. 1 a) b) および Photo. 2 a) に示すように、低サイクル-短ストロークすなわちヒールタイム ( $\theta_h$ ) が零、ネガティブストリップ率 ( $N_e$ ) が負の鋳型振動条件においても、明瞭にオシレーションマークが生成しているのが注目される。

### 3.1.2 オシレーションマーク部の凝固組織

Photo. 3 に、ステンレス鋼 SUS 304 の典型的なオシレーションマーク谷部の凝固組織と偏析状況を示す。

SUS 304 のオシレーションマーク谷部には、爪状

凝固組織およびその爪の外側にオーステナイト単相の粗大デンドライト異常凝固組織の生成が認められた。マイクロアナライザーによる線分析の結果、粗大デンドライト異常凝固組織は、偏析度 1.1~1.2 の Ni 正偏析層であることがわかる。SUS 304 の正常な凝固組織では、初晶として  $\delta$ -フェライト (Ni 負偏析, Cr 正偏析) が析出し、凝固中に  $\gamma$  に変態するために、Ni と Cr 濃度高低が相反する偏析挙動傾向を示すが、粗大デンドライト異常凝固組織部では Ni 濃化溶鋼から  $\gamma$  単相凝固したために、Ni と Cr 濃度高低が同一の偏析挙動を示すものと考えられる<sup>5)</sup>。SUS 304 オシレーションマーク部の Ni 濃化機構は、凝固前面に存在する Ni 濃化溶鋼が

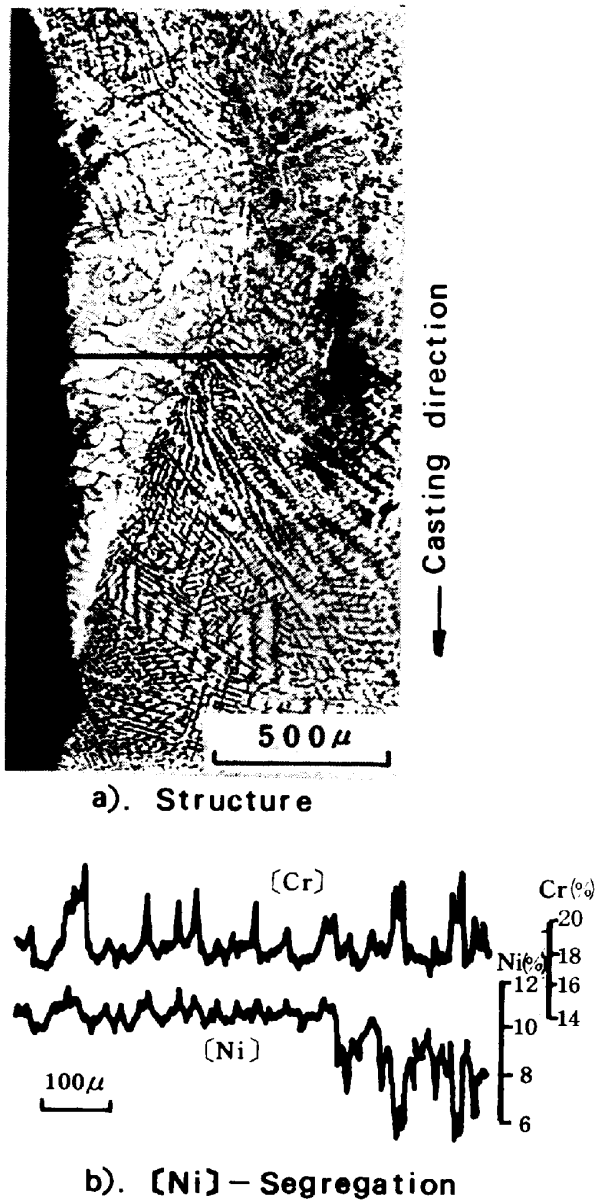


Photo. 3. Structure and segregation in vicinity of oscillation mark.

鋳型下降時間メニスカスの凝固シェル先端に滞留し、鋳型上昇時にこれが爪状凝固シェル上に溢流して凝固したと考えられるが、この生成機構についてはさらに詳細な検討が必要である。Al-Si キルド鋼連鋳タ片のオッシレーションマークに沿った P 偏析が認められており<sup>3)6)</sup>、同様の現象と考えられる。

3.2 オッシレーションマーク深さにおよぼす鋳型振動条件の影響

オッシレーションマーク深さにおよぼすサイクル数 ( $f$ ) とストローク ( $S$ ) の影響を Fig. 4 に示す。オッシレーションマーク深さは、ネガティブストリップ率 ( $N_e$ ) が正の領域では、 $f$  が大きいほど、 $S$  が小さいほど浅くなるが、 $N_e < 0$  の領域では、 $S$  が小さいほど浅く

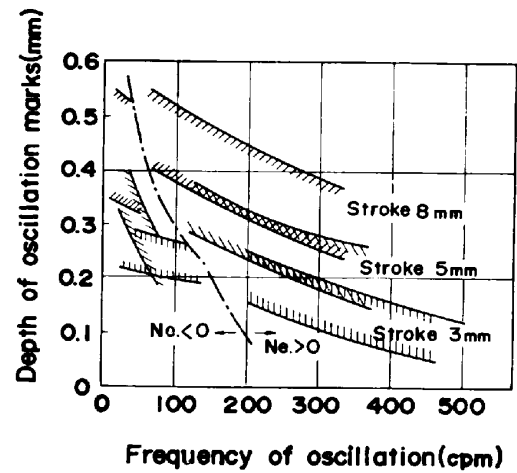


Fig. 4. Effect of frequency and stroke length on depth of oscillation marks.

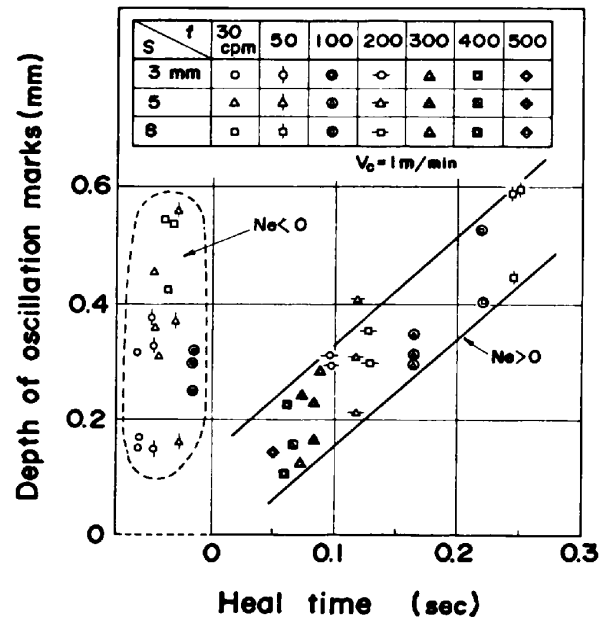


Fig. 5. Relation between heal time and depth of oscillation marks.

なるが、 $f$  の影響は小さい。

オッシレーションマーク深さとヒールタイム ( $\theta_h$ ) との関係を示す Fig. 5 に示す。オッシレーションマーク深さは、 $N_e > 0$  では、(2)式で示される  $f$  と  $S$  を組みこんだ  $\theta_h$  により統一的に精度よく説明できる。しかし、 $N_e < 0$  の領域すなわち  $\theta_h = 0$  においても、オッシレーションマークは生成し、その深さは、Fig. 6 に示すように、 $S$  により整理され  $S$  が小さくなるほど浅くなる傾向が認められた。

4. 考察

4.1 オッシレーションマーク低減方法

オッシレーションマーク深さは、 $N_e > 0$  の領域では、

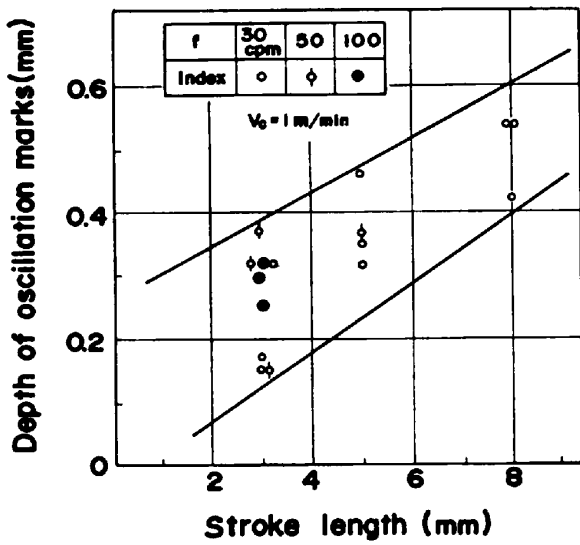


Fig. 6. Relation between stroke length and depth of oscillation marks at  $N_e < 0$ .

$\theta_h$  が小さくなるにつれて浅くなる。 $\theta_h$  と鋳型振動条件  $f$  と  $S$  との関係を Fig. 7 に示す。引き抜き速度一定の場合、それぞれの  $S$  において、 $\theta_h$  が最高となる  $f$  がある。 $\theta_h$  は、 $f$  が増加すると急激に大きくなり、 $N_e = 50\%$  で最大値を示す。 $N_e > 50\%$  では、高サイクル-短ストローク化により  $\theta_h$  は小さくなる。 $0 < N_e < 50\%$  の範囲では、 $f$  と  $S$  の微変動により  $\theta_h$  は大きく変動するため実操業では制御困難である。したがって、オシレーションマーク深さ低減すなわち  $\theta_h$  を小さくするためには、 $N_e > 50\%$  において、高サイクル-短ストローク化が有効である。

$N_e < 0$  の領域では、Fig. 6 に示すように、短ストローク化が有効である。

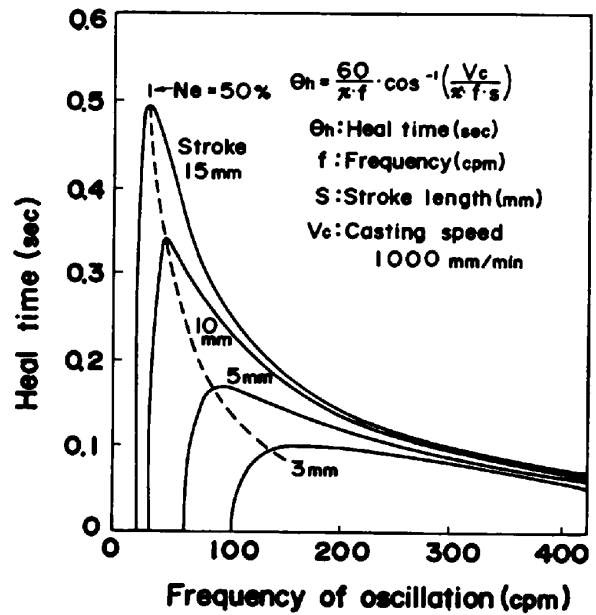


Fig. 7. Graphical representation of the effect of stroke length and frequency on heal time.

4.2 オシレーションマークの生成機構

連铸々片のオシレーションマーク生成機構については、ネガティブストリップ時に、初期凝固殻が鋳型より圧縮を受け溶鋼側に屈曲し<sup>7)</sup>、ポジティブストリップ時に凝固殻先端に溶鋼が溢流して生成<sup>8)</sup>し、オシレーションマーク深さは、ネガティブストリップ時間すなわちヒールタイム ( $\theta_h$ ) が増大するほど大きくなり<sup>7)</sup>、 $\theta_h = 0$  でオシレーションマークは消失する<sup>7)</sup> ことが報告されている。本実験結果においては、 $N_e > 0$  の場合、川上<sup>8)</sup>、中戸<sup>7)</sup> らの結果と一致したが、 $N_e < 0$  すなわち  $\theta_h = 0$  の場合でもオシレーションマークは消失せず明らかに生成した。Fig. 8 に、 $N_e > 0$  および  $N_e < 0$  の場

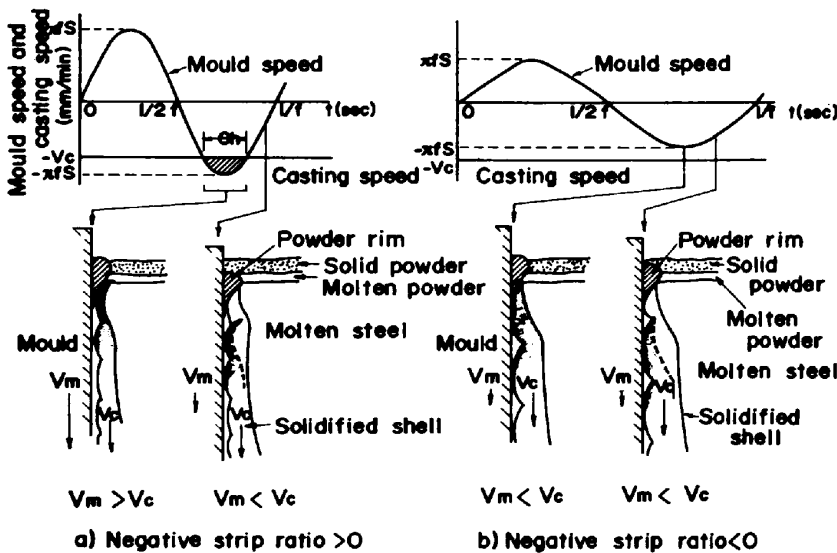


Fig. 8. Formation mechanism of oscillation marks on the surface of continuously cast strand.

合のオッシレーションマーク生成機構を比較して示す。

$N_e < 0$  の条件でのオッシレーションマーク生成機構としては、湯面は常に一定であるため、鋳型下降時に  $N_e > 0$  の場合と同様に、初期凝固殻はスラグベアや粘稠溶融パウダーの外部応力により変形を受け、鋳型下降速度が増加から減少に変わる時点で溶鋼が変形を受けた凝固殻上に流れ込みオッシレーションマークが形成されると考えられる。

## 5. 結 言

ステンレス鋼連铸々片のオッシレーションマーク性状におよぼす鋳型振動条件の影響を、連铸鋳型シミュレーターにより広範囲に調査した。得られた結果は、次のとおりである。

(1) SUS 304 ステンレス鋼のオッシレーションマーク谷部に三日月状の爪状凝固組織および爪の上部に Ni 正偏析した粗大デンドライト異常凝固組織が生成した。

(2) オッシレーションマーク深さは、ネガティブストリップ率が正の条件ではヒールタイム ( $\theta_h$ ) が小さくなるにつれて浅くなる。

(3) ネガティブストリップ率が負の条件すなわち  $\theta_h = 0$  においてもオッシレーションマークは生成し、その深さは、ストロークに比例する。

(4) オッシレーションマーク深さ低減方法およびネガティブストリップ率が負の条件でのオッシレーションマーク生成機構を示した。

## 文 献

- 1) 桜谷敏和, 江見俊彦, 今井卓雄, 江本寛治, 児玉正範: 鉄と鋼, **67** (1981) 8, p. 1220
- 2) 平山俊三, 市橋弘行, 木宮章吾, 三崎晴夫, 小嶋莊一: 鉄と鋼, **63** (1977) 4, S 149
- 3) 田中重典, 三隅秀幸, 溝口庄三, 堀口 浩: 鉄と鋼, **67** (1981) 4, S 172
- 4) 塗 嘉夫, 藤井博務, 大橋徹郎, 北村 修: 鉄と鋼, **65** (1979) 4, S 241
- 5) H. FREDRIKSON: Metall. Trans., **B3** (1972) 11, p. 2989
- 6) 田中重典, 三隅秀幸, 木部寿夫, 太田達雄, 溝口庄三, 堀口 浩: 鉄と鋼, **67** (1981) 11, S 852
- 7) 中戸 参, 垣生泰弘, 江見俊彦, 反町健一, 越川隆生, 小嶋英明: 鉄と鋼, **67** (1981) 11, S 908
- 8) 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, p. 1190
- 9) 石田寿秋, 北川 融, 川和高穂, 宮下芳雄: 鉄と鋼, **64** (1978) 11, S 655