



UDC 621.74.047

## 鋼の水平式連続铸造技術

伊 藤 雅 治\*

### Horizontal Continuous Casting of Steel

Masaharu Ito

#### 1. 結 論

水平式連続铸造, すなわち溶鋼の凝固開始から完了までのすべてのプロセスを地上レベルで行う方式は発想的にもつとも自然な形態であり, アルミニウム<sup>1)</sup>, 銅等の非鉄金属の分野及び铸铁<sup>2)</sup>の分野では古くから工業化されている。

この方式は本文で詳述するごとく, 一般にタンディッシュと鑄型を直結する形式をとっており, 鋼の分野ではその高温性のためタンディッシュと鑄型との接続部材料の問題及び鑄型と鑄片の焼付の問題が解決されず, 鑄型を独立させる垂直式が工業化に先行している。その後出現した湾曲式は原理的には垂直式と全く同じものであり, この方式が現在の連続铸造全盛の基盤となつていることは周知の事実である。

しかるに, 最近連続铸造設備の巨大化, 複雑化に伴い, 水平式に対しその設備の簡易性の面から見直しの機運が高まり, ビレット用を中心にいくつかの方式が工業化を目標として開発されてきている。Technicon 方式<sup>3)</sup>, General Motors 方式<sup>4)</sup>, ソ連方式<sup>5)</sup>, 住友金属方式<sup>6)7)</sup>, NKK-Davy 方式<sup>8)~13)</sup>等がその例である。

特に国内において工業規模の設備が日本鋼管福山製鉄所及び住友金属鋼管製造所において, 稼動を開始しており, これ等より得られた多くの知見が鉄鋼協会, 日本金属学会, 学術振興会等を通じて報告されているので, 本稿では主としてこれら資料を中心に, 更に前述の諸方式の資料を若干付加し, 鋼の水平式連続铸造技術について説明を行つてみたい。

#### 2. 水平式連続铸造の長所と問題点

一般に水平式連続铸造は溶鋼の凝固開始から完了までのすべての工程が水平一直線上で行われる方式として定義づけられ, 一部の方式を除いては鑄型は closed head, す

なわちタンディッシュと直結した形態となつている。

この特性から水平式連続铸造は垂直式或いは湾曲式と比較して, 次に示すごとくいくつかの有利な点を有している。

(1) 機高が低く, 機械重量が小さく建設費が安い。特に既設建屋内への設置が容易なことから, 造塊のリリースにおいてこの利点は顕著となる。

(2) すべての機械配置が平面上であるため操業, 保全が容易である。

(3) タンディッシュと鑄型が直結しているため,

① 設備的には従来铸造困難とされていた小断面, 例えば 75 mm 角のごときビレット用の铸造機が可能となる。また, 鑄型内の溶鋼静圧が高く, 凝固シェルと鑄型内面との接触が安定維持されることから, 真円度の優れた丸ビレット用の铸造機が可能となる。

② 操業面では鑄型内溶鋼レベルの制御を必要とせず, 省力化が容易である。

③ 品質面では溶鋼の二次空気酸化が防止されること, また, 鑄型内への介在物の流入機会が少ないことから, 鑄片の清浄性が優れている。

以上のごとく, 水平式は多くの利点が期待されるにもかかわらず, その工業化がおくれているのはタンディッシュと鑄型との直結という特性から発生する次のごとき問題点の解決が困難であつたことによる。

(1) タンディッシュと鑄型との接合部の耐火物材質に対する要求が非常に厳しく, 一般の耐火物ではこれを満足することができない。

(2) 鑄型と鑄片の焼付を防止するため垂直式あるいは湾曲式で使用されている鑄型オシレーションの採用が困難であり, これに代わる機構を開発せねばならない。

(3) 鑄型内潤滑剤の外部からの供給が困難であるため特にステンレス鑄片のごとく鑄型との摩擦抵抗の大きいものは独得な潤滑方式の開発が必要となる。

昭和 55 年 9 月 3 日受付 (Received Sept. 3, 1980) (依頼解説)

\* 日本鋼管(株)本社 (Nippon Kokan K. K., 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku 100)

### 3. 水平式連続鑄造技術の要点

水平式連続鑄造技術の要点は前章で述べた3つの問題をいかに解決するかであり、ここに各方式の特徴がある。

#### 3.1 タンディッシュ、鑄型接合部

Fig. 1(NKK-Davy 方式), Fig. 2(住友金属方式), Fig. 3 (General Motors 方式) に各方式のタンディッシュと鑄型との接合部の構造を示す。

ここでブレード・リングあるいは接続耐火物と呼ばれている箇所は鋼の溶融域と凝固域の境界面として、凝固

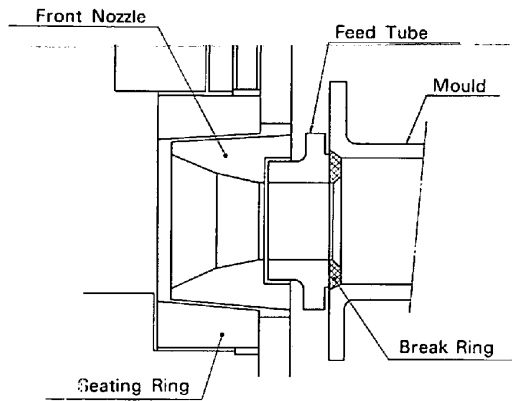


Fig. 1. Section of tundish-mould arrangement<sup>13)</sup>.

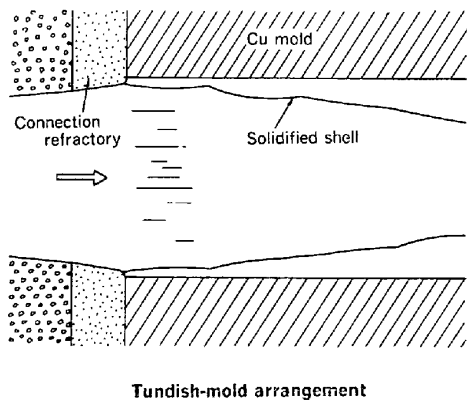


Fig. 2. Section of tundish-mould arrangement<sup>7)</sup>.

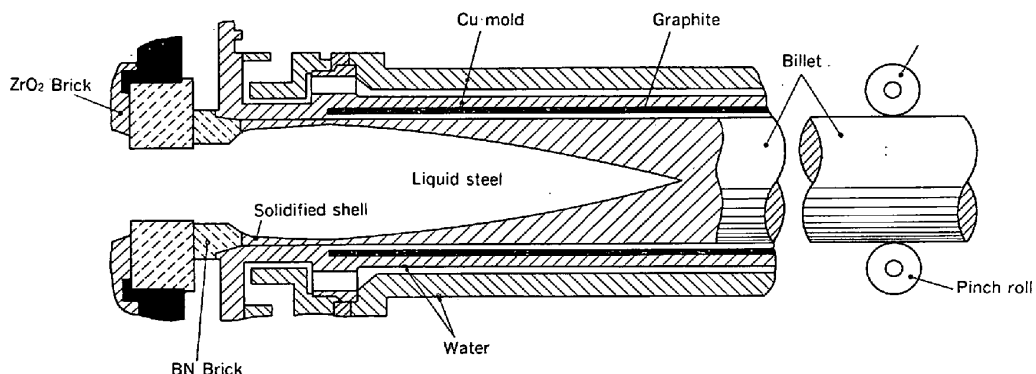


Fig. 3. Section of tundish-mould arrangement<sup>4)</sup>.

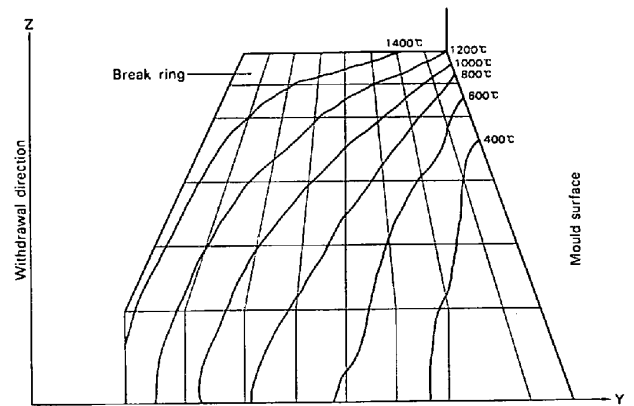


Fig. 4. Thermal distribution of break ring.

開始点を安定維持し鑄片表面の性状を支配する極めて重要な部分であり、次のごとき厳しい特性を要求される。

(1) 鑄型との正確な接合のため、高い寸法精度、すなわち良好な機械加工性を必要とする。

(2) 鑄造中、溶鋼からの加熱と鑄型からの冷却により Fig. 4 に示すごとく内部に大きな温度勾配を生じ、その結果大きな熱応力が発生する。これに耐える高い耐熱応力性が必要である。

(3) 溶鋼流入開始時の大きな温度変化 (70°C → 1550°C) に耐える耐スポーリング性が必要である。

(4) 鑄造中のタンディッシュ交換は困難なため、鑄造能力はブレード・リングの寿命によつて決定される。従つて長時間の鑄造に耐える耐溶損性、耐摩耗性が必要である。

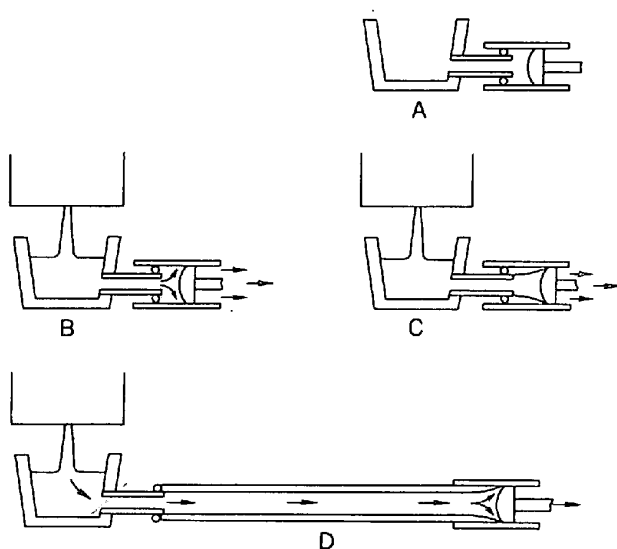
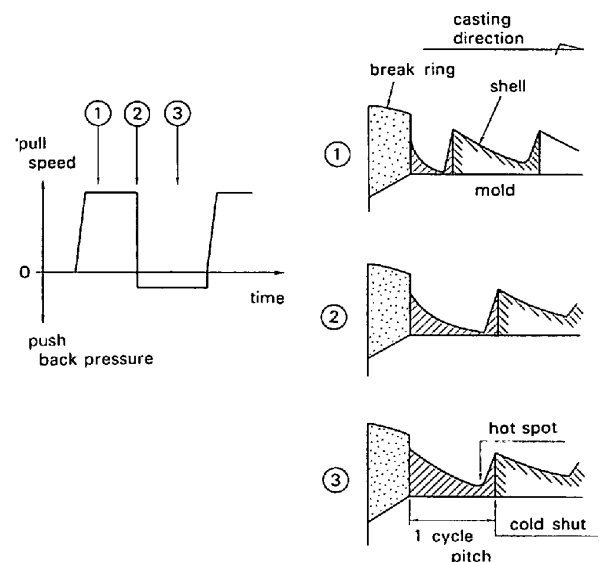
Table 1 にこれ等要求特性に対する主な耐火物の評価を示すが、従来一般的な酸化物系耐火物、 $Al_2O_3$ ,  $Zr_2O_3$ ,  $SiO_2$  はこれらの条件を満足することができず、 $Si_3N_4$ , BN 系の窒化物系材料によりはじめて問題点の解決がみられたことがわかる。

現在、この部分に使用されている材料は方式により異なるが、ソ連方式(黒鉛系耐火物に特殊なコーティング処理を施したものを使用している)を除いては、前述の窒化物系が主体であり、住友金属方式、General Motors

Table 1. A guide table of properties of break ring materials.

Major properties Required	Alumina	Zirconia	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> Reaction bonded silicon nitride	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -BN Reaction bonded silicon-boron nitride	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> Hot pressed silicon nitride	BN Hot pressed boron nitride	ZrO <sub>2</sub> Mo Zirconia Molybdenum cermet	Fused silica
1. High thermal shock resistance	×	×	△	○	○	○	○	○
2. High thermal stress resistance	×	×	△	○	○	○	○	○
3. High dimensional accuracy and easy finishing	×	×	○	○	×	○	×	○
4. High abrasion resistance	○	○	○	○	○	○	○	△
5. High corrosion resistance	○	○	○	○	○	○	?	×

○ : good, △ : medium, × : bad

Fig. 5. Operating sequence of closed-end mould process<sup>1)</sup>.Fig. 6. Schema of initially solidified shell profile at various stages of withdrawal cycle<sup>13)</sup>.

方式では BN がまた NKK-Davy 方式では Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> に 5~15% の BN を添加したものが使用されている。

NKK-Davy 方式の操業結果として鑄片の鑄造長さ 600m 以上、鑄造時間 4 時間以上の耐久性が報告されており、工業化の可能性を立証している。

### 3.2 鑄片引抜方法

水平式においても、鑄型と鑄片の焼付き防止のため垂直式、湾曲式で使用されている鑄型のオシレーション機構を採用している方式がある。closed end 鑄型を使用する Technicon 方式がその例であり、Fig. 5 に示すごとく凝固の進行に伴って鑄型をオシレートさせながら連続的に移動させる引き抜き方法を採用している。

しかし、一般的には鑄型をタンディッシュに固定させ、オシレーションに替わる機構として、引き抜きを断続して

行いいわゆる 間歇引き抜き法を採用している方式が多く、General Motors 方式、ソ連方式、住友金属方式、NKK-Davy 方式はいずれもこのグループに属する。

Fig. 6 はこの間歇引き抜きサイクルと凝固シェルの生成状況を模式的に示したものである。図からわかるごとく、引き抜き時に新しい溶鋼が流れ込み、停止時にブレイク・リングを起点として次の引き抜きに耐え得る凝固シェルを形成する。この引き抜き・停止サイクルのピッチは各方式によつて若干異なり、ソ連方式では 20~40 cpm、NKK-Davy 方式では約 100 cpm または住友金属方式では 30 cpm を採用している。

凝固シェルを常に健全な状態で維持することはこの技術のもつとも重要な点であり、凝固シェルの破断は大き

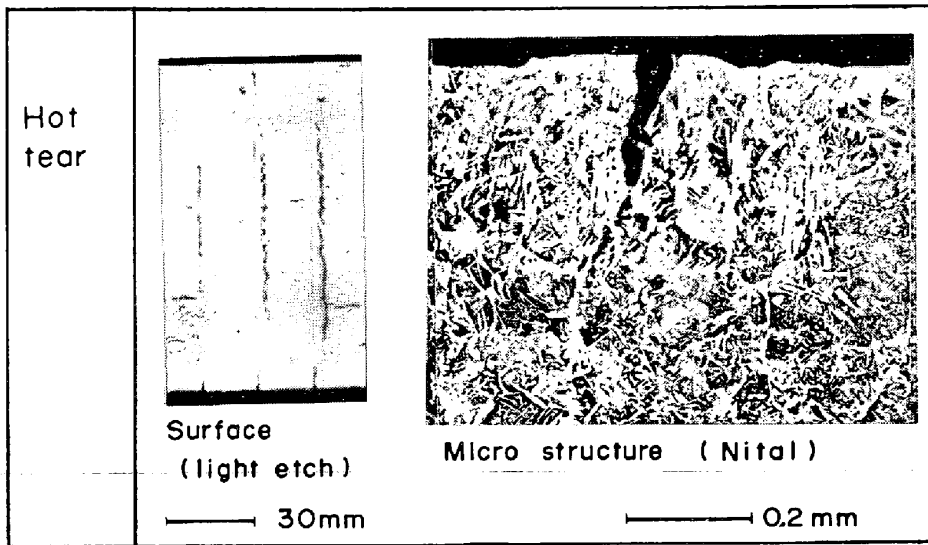


Photo. 1. An example of hot tear<sup>13)</sup>.

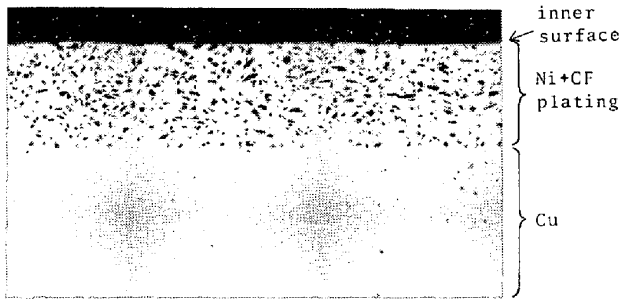


Photo. 2. Micro-structure of Ni-CF plating<sup>7)</sup>.

い場合はブレイク・アウト等操業上の事故につながり、小さい場合でも鑄片の表面性状を劣化させる。Photo. 1 に鑄片表面に観察される凝固シェル破断現象を示す。NKK-Davy 方式では停止時に若干の圧縮力をかけて押しもどしを行い、停止中の鑄片の収縮量に相当する部分を補償することにより、凝固シェルの破断防止の強化を画っている。

3.3 鑄型内潤滑

鑄型内の潤滑は垂直式、湾曲式における菜種油あるいは連鑄パウダーの外部からの連続供給のごとき方法は困難であり、各方式独得の方法を採用している。

General Motors 方式では Fig. 3 に示したごとく鑄型の後半部にグラファイトのスリーブを使用し、この潤

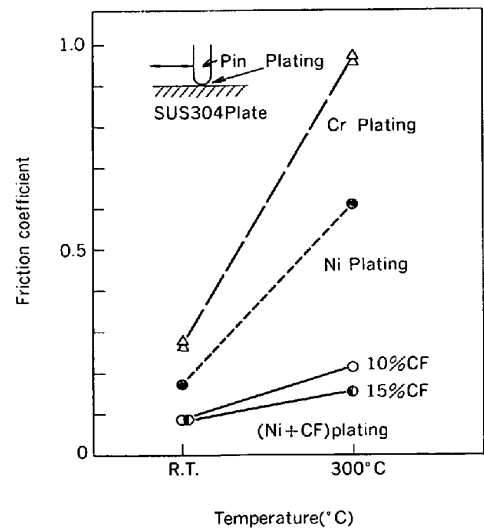


Fig. 7. Friction coefficient of plating<sup>7)</sup>.

滑性能を利用している。住友金属方式では鑄型内面に固体潤滑剤を含有した特殊なニッケルめつきを施して、鑄型自身に潤滑性能を持たせている (Photo. 2 参照)。Fig. 7 にその効果を示すが、鑄型；鑄片間の摩擦係数が著しく小さくなっていることがわかる。また、NKK-Davy 方式は鑄型内面にニッケル・クロムめつきを施

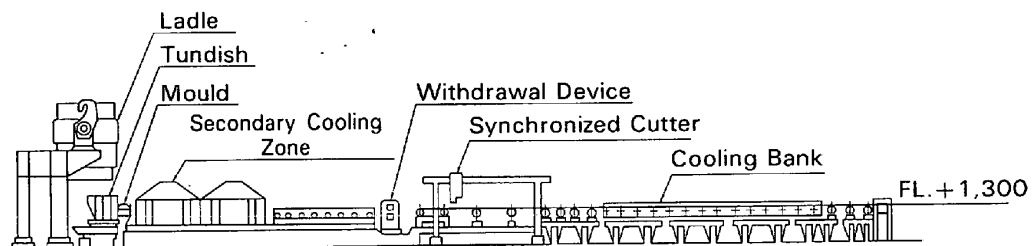


Fig. 8. Elevation of horizontal continuous casting machine of NKK<sup>13)</sup>.

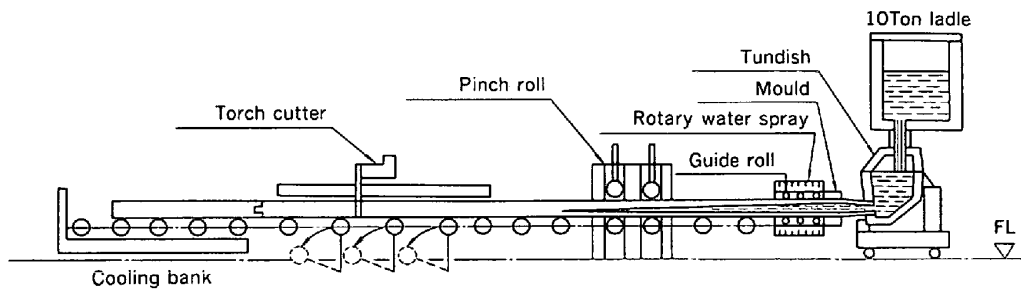
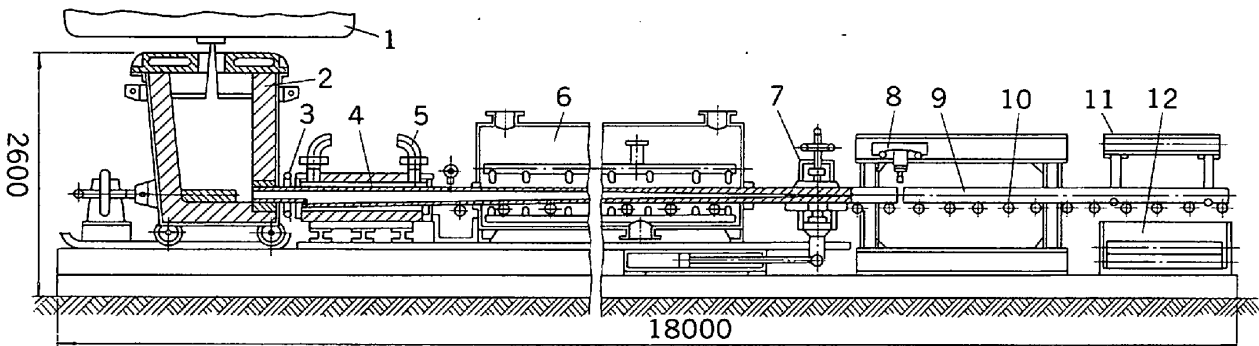


Fig. 9. Elevation of horizontal continuous casting Machine of Sumitomo<sup>7)</sup>.



1. Ladle, 2. Metal receiver or tundish, 3. Nozzle with gas burner, 4. Billet, 5. Mould, 6. Secondary cooling zone, 7. Withdrawal mechanism, 8. Gas cutters, 9. Cut length of billet, 10. Roller table, 11. Tilting gear, 12. Runout table

Fig. 10. Elevation of horizontal continuous casting machine of USSR.

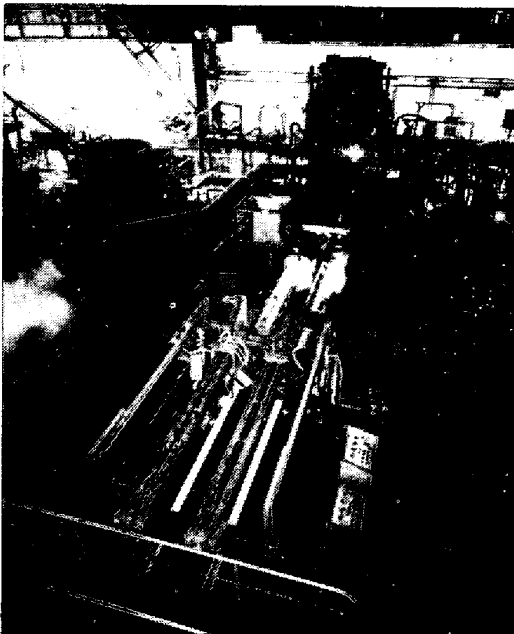


Photo. 3. Horizontal continuous casting machine of NKK<sup>13)</sup>.

した上に特殊な固体潤滑剤を塗布している。

#### 4. 水平式連続鋳造の設備

Fig. 8, Photo. 3 (NKK-Davy式), Fig. 9, Photo. 4 (住友金属式), Fig. 10(ソ連式) に各方式の水平式連続

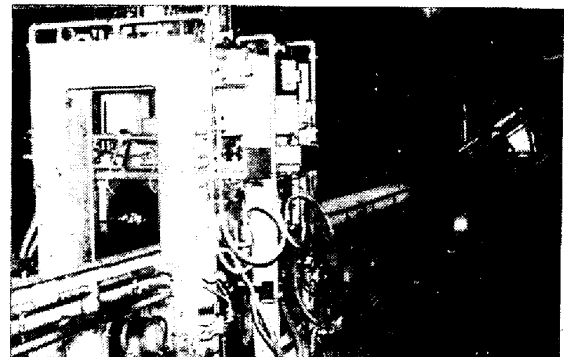


Photo. 4. Horizontal continuous casting machine of Sumitomo<sup>7)</sup>.

鋳造設備を示す。

いずれも機械本体はすべての設備が水平方向に直線的に配置されており、鋳片のパスラインは垂直式、湾曲式と比較して著しく低い。(NKK-Davy 式の例では FL + 1 m 300 一定である。)

タンディッシュと鋳型は直結されており、現在稼働している2ストランド設備では、1基のタンディッシュに2基の鋳型が並列して接続する形態となつている。

鋳型はその内部における溶鋼静圧が高く、内面と凝固シェルとの接触が良好なことから冷却効果が大い。このため凝固シェルの形成は周辺に沿って均一かつ安定しており、これが丸ビレットの鋳造を容易とする因子となつている。住友金属鋼管製造所の設備は 147 mm~328

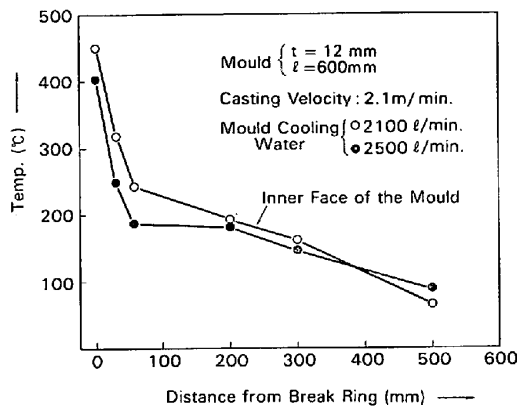


Fig. 11. Temperature distribution on the mould<sup>13)</sup>.

mm 丸用, また日本鋼管福山製鉄所の設備は 75 mm~150 mm 角及び 120 mm~230 mm 丸用であり, 次章で述べるごとくいずれも安定した丸铸片の製造を行っている. また, この铸型の冷却効果が大きいことは铸型長さの短縮化を可能とし, 設備の簡易化に役立つ. 例えば NKK-Davy 式においては 300 mm までの短縮化に成功している.

一方このため铸型の受ける熱負荷は大きい. Fig. 11 に铸型内面温度の測定結果を示すが, 特にブレーク・リングに近接する部分の条件は厳しく, 铸型材料に対する考慮が必要となる.

二次冷却帯は各部分の铸片支持力が一定でかつ小さくてよいため, 非常に簡単な構造となっている. 二次冷却の考え方は垂直式と同一であり, 通常の散水方式が採用されている.

引き抜き設備は前述の特殊な引抜きサイクルを制御する必要があるため, 一般には高精度な制御が可能な油圧式が採用されている.

### 5. 水平式連続铸造の製品

水平式連続铸造による铸片は形状的にはビレットに限られており, スラグ, 大断面ブルームまでの開発はまだ

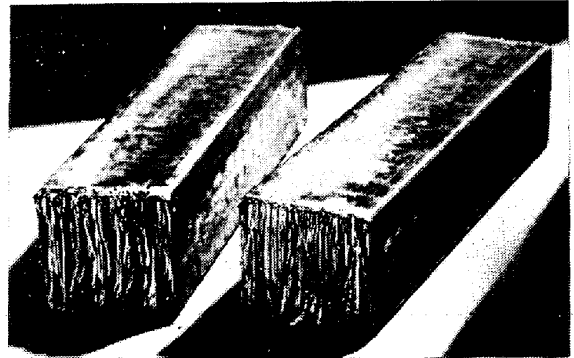


Photo. 5. Billet sample (115 mm square)<sup>13)</sup>.

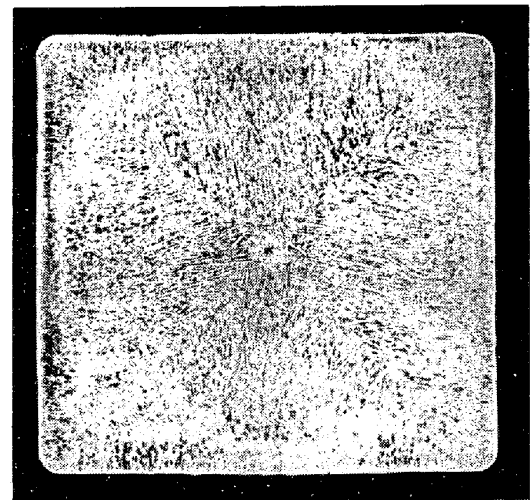
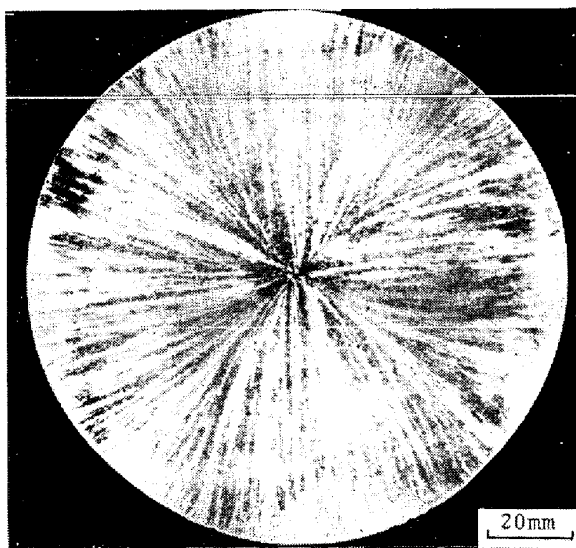
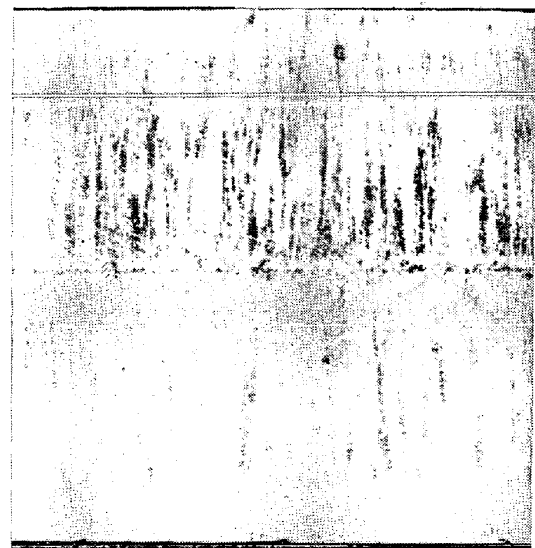


Photo. 6. Macro-structure of horizontal continuous casting square billet (C steel)<sup>13)</sup>.



Cross-section



Longitudinal-section

Photo. 7. Macro-structure of horizontal continuous casting round billet (SUS 304)<sup>7)</sup>.

行われていない。すなわち、現在までに報告されているものは形鋼、棒鋼、線材等用の角ビレット及び継目無管用の丸ビレットである。鋼種的には従来の垂直あるいは湾曲式ビレット連铸機より広い範囲の適用が試みられており、軟鋼線材用のアルミキルド低炭素鋼から継目無管用のステンレス鋼あるいはニッケル基合金に至るまでの報告が行われている。

Photo. 5 に炭素鋼 115 mm 角铸片の外観を示す。表面に間歇引き抜きによる引き抜きサイクル・パターンが観察されるが、垂直式のオンレーション・パターンと同様、最終製品の表面品質への影響がないことが確認されている。

Photo. 6 に炭素鋼角铸片の、Photo. 7 にステンレス (SUS 304) 鋼丸铸片の各断面マクロ組織写真を示すが、いずれも中心部のポロシティは軽微であり、垂直式或いは湾曲式の铸片と比較して少なくとも同等水準である。一般に水平式の場合、クレーター先端の溶鋼静圧が低いこと中心部のポロシティについては不利と考えられるが、このような結果を示しているのは水平式は铸型内の凝固シェルの形成が均一、安定しているため、凝固進行中のブリッジング現象が起りにくくクレーター先端への溶鋼の供給が安定維持されることによると考えられる。

また、Photo. 7 からわかるごとく、丸铸片の真円度は非常に優れている。

成分の偏析については従来の連続铸造铸片と特に変わりはなく、水平方向凝固によつて懸念される上下方向 (天地方向) の偏析は認められていない。

清浄度についてはタンディッシュ、铸型間における溶鋼の二次酸化がないこと及び大口徑接合ノズルの使用により铸型への溶鋼流入速度が低いこと介在物が铸型内へ流れ込む機会が少ないことから一般に良好な成績を示している。

## 6. 結 言

鋼の水平式連続铸造技術の概要について既発表の文献を基に、特に工業規模設備による詳細な結果が報告されている住友金属方式及び NKK-Davy 方式の資料を中心として説明した。

水平式連続铸造は原理的に垂直式、湾曲式と異なつた特徴を有することから、今後の発展はこれら従来方式と同一分野で競合するという形態より、むしろその特徴を発揮できる分野——例えば、設備の簡易性の面から小規模設備分野、铸片品質の高清浄性の面から高級鋼ビレット分野、あるいは铸片形状の良好な真円度の面から丸ビレット分野——を担当するという形態で行われるものと考えられる。

いずれにしても、この方法は工業化の緒についた段階であり、今後その進展について大いに期待できるであろう。

## 文 献

- 1) 例えば E. F. EMLEY: International Metals Reviews, June (1976), p. 75
- 2) 例えば H. A. KRALL and B. R. DOUGLAS: Foundry, Nov. (1970), p. 50
- 3) H. E. ALLEN, L. WATTS, and R. HADDEN: [Continuous Casting of Steel] (1976), p. 215 The Metals Society, London
- 4) U. S. Patent 3,642,058
- 5) V. T. SLADKOSHTEEV, A. I. MANOKHIN, and O. A. SHATAGIN; Steel in the USSR, April (1977), p. 208
- 6) 杉谷泰夫: 日本金属学会会報 18 (1979) 12, p. 834
- 7) 池田隆果, 梅田洋一, 杉谷泰夫, 中井 健, 石原和雄, 阪根武良: 日本学術振興会第 19 委員会提出資料 (1980)
- 8) J. MARSH: Steel Times, June (1971), p. 515
- 9) 三好俊吉, 阪本英一, 伊藤雅治, 本田 旭, 安斉孝儀, 石川 勝: 鉄と鋼, 65 (1979), S756
- 10) 田口喜代美, 宮下芳雄, 小谷野敬之, 半明正之, 石川 勝: 鉄と鋼, 65 (1979), S757
- 11) 田口喜代美, 石川 勝, 水岡誠史, 小谷野敬之, 宮本 明, 西 正明: 鉄と鋼, 66 (1980), S199  
田口喜代美, 石川 勝, 水岡誠史, 上野 康, 本田 旭: 鉄と鋼, 66 (1980), S200
- 12) 武田州平, 土田 裕, 宮原 忍, 田口喜代美, 石川 勝, 上野 康: 鉄と鋼, 66 (1980), S198
- 13) 宮下芳雄: 日本学術振興会第19委員会提出資料, (1980)