

## 技術報告

UDC 621.746.047

## スラブ連続機によるラウンド・ビレットのツイン・キャスト法

吉田圭治\*・永幡 勉\*・友野 宏\*

木村 和成\*<sup>2</sup>・辻田 進\*

## Round Billet Casting by Slab Caster for High Quality Seamless Tube Application

Keiji YOSHIDA, Tsutomu NAGAHATA, Hiroshi TOMONO,  
Kazushige KIMURA, and Susumu TSUJITA

## Synopsis :

At Wakayama Steel Works of Sumitomo Metal Industries, tube rounds have been supplied by break down process of concast blooms. For the further drastic rationalization of the process, direct tube round casting trials have been carried out.

(1) Round billet casting trials have been carried out by minor changes of the existing curved and vertical type slab casters.

(2) Surface and internal quality of round billet have been found excellent.

(3) Round billets may be rolled to seamless tubes without surface conditioning.

(4) To reduce the center porosity, enough care must be taken, especially for super heat in tundish and casting speed.

(5) Equiaxed crystal zone of cast round billet have greatly increased by newly developed R.M.S. (Rotating Magnet Stirrer).

## 1. 緒 言

和歌山製鉄所においては、昭和54年1月に稼動を開始したブルーム用連続铸造設備にて継目無鋼管用素材の連続铸造化技術を確立しているが、より一層の合理化の達成を目的とし従来のブレードダウン方式に替えスラブ用連続铸造設備を用い直接管材用ラウンドビレットを製造する試験を実施している。

連続铸造設備によつて継目無鋼管用の丸铸片を直接製造する方法には多くの試みが成されており<sup>1)</sup>、西独・マッネスマン社<sup>2)</sup>、イタリア-ダルミネ社<sup>3)</sup>などで実生産に応用されている。さらにオーストリア-ペーラー社では中空管の連続の試み<sup>4)</sup>も成されている。これらの試みではモールドの変形などに起因するといわれる铸片の縦割れ、中心部での不健全な凝固組織、あるいは製管サイズに合わせた頻繁なモールド替による低生産性などに難があるとされ、最近では铸型を垂直軸のまわりに回転

させるいわゆる C. C. C 法<sup>5)</sup>や、角铸片を直接製管する P. P. M 法<sup>6)</sup>も実用化されている。

当所では既設のスラブ用連続铸造設備を利用してラウンドビレットの铸込試験を実施し、溶鋼の磁気攪拌を始め種々の改善を加えた結果、高級継目無鋼管素材としてのラウンドビレットの製造のめどを得たので、その概略を報告する<sup>7)</sup>。

## 2. 設 備 改 造

## 2.1 現有スラブ用連続铸造設備

管材用ラウンドビレットの铸込みには現有スラブ用連続铸造設備を用い、モールド廻りを中心とした設備のわずかな改造を行い铸込みを実施した。Table 1に铸込みに用いたスラブ用連続铸造設備の仕様を示す。現在、和歌山製鉄所は垂直型、湾曲型の2基のスラブ用連続铸造設備を保有しており、そのいずれの連続铸造設備においてもラウンドビレットの連続铸造を実施したが、铸込み

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

\* 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1850 Minato Wakayama 640)

\*<sup>2</sup> 住友金属工業(株)小倉製鉄所 (Kokura Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

Table 1. Specification of slab casting machine used for round billet casting.

| Item                   | No. 1 Slab CCM   | No. 2 Slab CCM         |
|------------------------|--|------------------------|
| Steel making furnace   | 90 t B. O. F   | 160 t B. O. F          |
| Machine type           | Concast V-type   | Concast S-type (10 mR) |
| Number of strand       | 1  | 2                      |
| Slab mold section size | 250 × 400 ~ 1 000<br>188 × 725 ~ 1 280<br>156 × 900 ~ 1 305<br>136 × 1 245 ~ 1 650 | 200 × 980 ~ 1 808      |
| Mold length            | 700 mm   | 700 mm                 |
| Roller apron           | 1 ~ 5 Segment  | 1 ~ 8 Segment          |
| Pinch roll             | 3 pairs of rolls   | 6 Segment              |

テストの主体は湾曲型連続铸造設備で行われた。

2.2 ラウンドビレット連続铸造化の設備改造

ラウンドビレットの連続铸造にはモールド、ローラーエプロン専用体及びダミバーヘッドを新作り他は既存設備を流用あるいは一部改造して使用した。Table 2に铸込み試験に使用したラウンドビレット用のモールドサイズを示す。本設備の心臓部を形成する铸型には銀入り銅を鍛造した肉厚約 40 mm の湾曲型円筒状テーパ付モールドを準備した。モールド直下の铸片の支持案内用には 4 面支持のフラットロール(100φ × 7 段) 付のローラーエプロン専用体を製作した。No. 2 スラブ用連続铸造設備においては片側ストランドにラウンドビレット铸込み用のツインモールドを、他のストランドには従来のツインブルーム铸込み用のツインブルーム铸型を設置し、角丸铸片を同時に铸造した。またタンディッシュは既存のツインブルーム用をそのまま流用した。タンディッシュのスライディングノズルはモールドサイズ上の制約より三層式を用いた。Fig. 1 に No. 2 スラブ用連続铸造設備を用いたツインラウンド铸込みプロセスの概要図を示す。

Table 2. Mold arrangement for round billet casting.

| Item                 | No. 1 Slab CCM | No. 2 Slab CCM |              |
|----------------------|----------------|----------------|--------------|
|                      |                | No. 1 Strand   | No. 2 Strand |
| Size of mold section | 282 mmφ        | 228 mmφ        | 305 × 600 mm |
| Number of strand     | 1              | 2 (Twin)       | 2 (Twin)     |

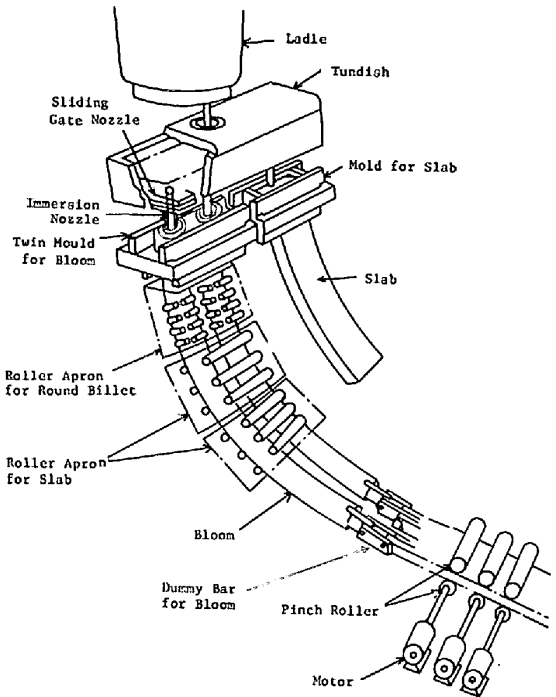


Fig. 1. Illustration of Twin Casting Process of Round Billet in a Strand of Existing Slab Caster.

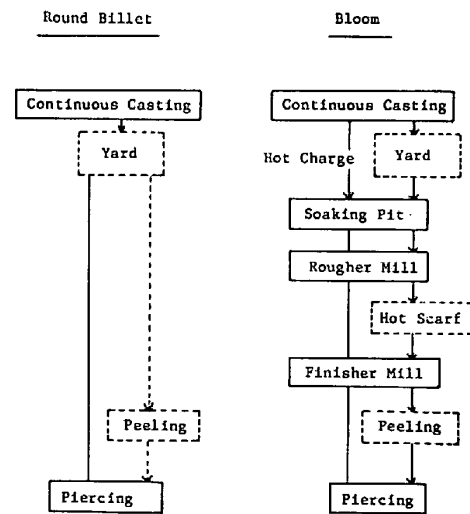


Fig. 2. Comparison of Flow Charts between Round Billet and Bloom for Seamless Tube Application.

3. 管材用ビレットの製造工程

工程のフローチャートを Fig. 2 に示す。既設ブルーム用連続铸造設備を用いた管材用ビレットの製造ではブルームはほとんど熱片にて分塊均熱炉へと装入される。その後、分塊圧延工程を経てビレットが製造される。一部铸込み条件の悪い铸片については分塊工程でのホットスカーフやビレットでの外削りが実施される。これに対しラウンドビレットの連続铸造法は分塊均熱、圧延工程が省略でき連铸ビレットから直接製管する方法であり、

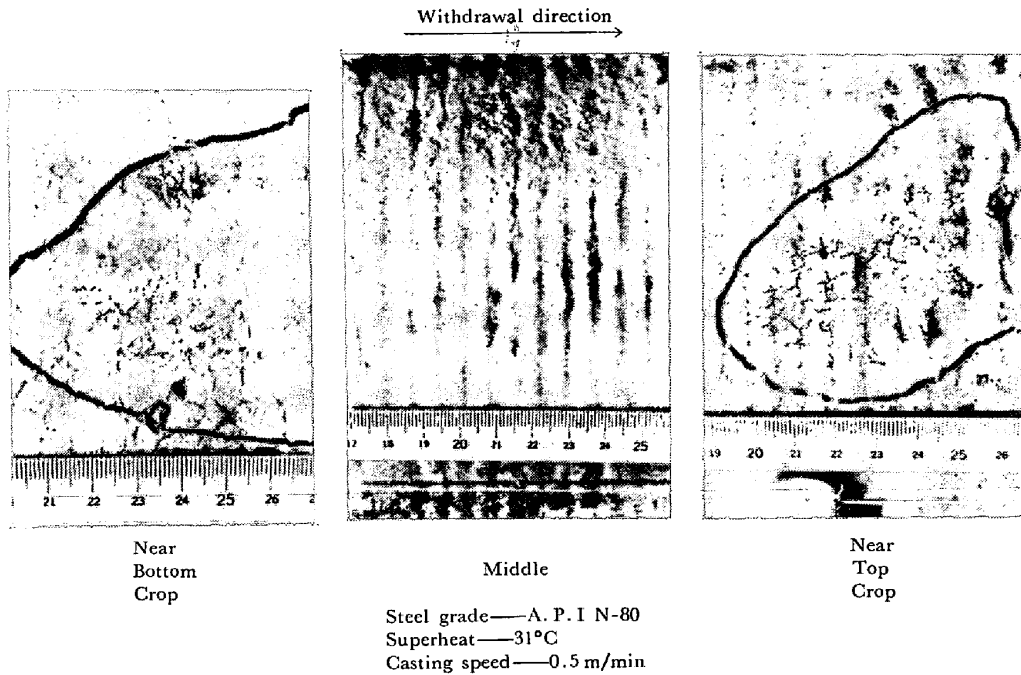


Photo. 1. Fine transverse cracks observed on surface of billet.

Table 3. Operational specifications for round billet casting.

| Item                         | No. 1 Slab CCM                  | No. 2 Slab CCM |
|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Ladle stream protection      | Ar                              |                |
| Flow control from tundish    | Sliding gate (Three plate type) |                |
| Material of immersion nozzle | Alumina-Graphite                |                |
| Type of immersion nozzle     | Straight                        | Bifurcated     |
| Lubrication in mold          | Powder casting                  |                |
| Casting speed                | 0.5~0.7 m/min                   | 0.45~1.0 m/min |
| Specific water amount        | 0.5~2.8 l/kg·s                  | 0.19 l/kg·s    |

従来法と比較すれば大幅な合理化達成が可能である。

#### 4. 操 業 条 件

Table 3 にスラブ用連続铸造設備を用いたラウンドビレットの連続铸造の操業条件を示す。ラウンドビレットの铸造は No. 1 スラブ用連続铸造設備での試作結果を基に、ストランド数の多い No. 2 スラブ用連続铸造設備にて量産テストを行った。

### 5. 铸 片 の 品 質

#### 5.1 表面疵

大断面ブルームはブレイクダウンにより表面疵が軽減される利点を有すが、ラウンドビレットからの直接製管方式ではより一層表面の健全さが要求される。テストにより得られた丸铸片表面は全般的に良好であったが、一部铸込み条件によつては横ひび割れ、ノロカミ疵が確認された。横ひび割れについては Photo. 1 に示すごとく 2 次冷却水量 0.5 l/kg·steel 以上時に铸込み速度の低下する铸込み Bottom, Top の铸片にて観察され、その疵深さは 2~3 mm に達し製管後パイプ表面疵となり得る有害疵であると判定される。Middle 部については 2 次冷却水量 2.8 l/kg·steel においても良好な表面性状を呈していた。铸込み速度の低下する Bottom, Top 部においては過冷却によるヒートショック割れであると推察でき、この傾向は大断面 (370×600) ブルーム連続铸造機における铸込み結果とほぼ同様である<sup>8)</sup>。この結果を基本に湾曲型スラブ用連続铸造設備における铸込みでは超弱冷パターン (0.19 l/kg·steel) を実施したところ、全く割れ疵のない極めて良好な表面品質の铸片を得ることができた。Fig. 3 に铸込み各部位における横ひび割れの発生状況を示す。ノロカミ疵については単孔ストレット型浸漬ノズルを用いた場合、溶鋼過熱度の低い ( $\Delta T=14^{\circ}\text{C}$ ) 铸込み Bottom 位置においてノロカミ疵が観察されたが、上向き 2 孔浸漬ノズルを用いメニスカス部への吐出溶鋼の供給を活発にし保温を強化した結果、

ノロカミ疵の発生は完全に防止できた。前述した横ひび割れ、ノロカミ疵以外の表面疵の発生は皆無であり、対策後は表面手入を必要としない性状の铸件が得られて

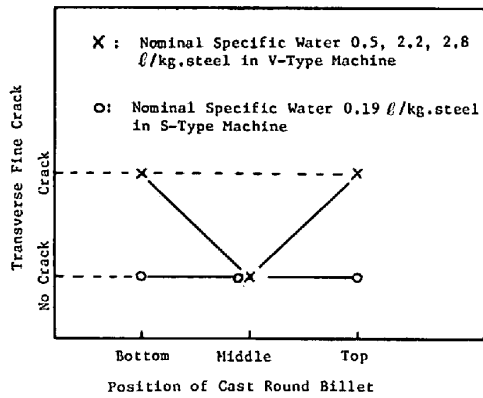


Fig. 3. Effect of specific water amount on transverse fine crack at different position of billet.

いる。

5.2 内部割れ

Photo. 2 に 282φ ラウンドビレットのサルファプリントを示す。中心偏析は軽微であり、また内部割れも観察されず良好である。

5.3 デンドライト組織

Photo. 3 に 282φ ラウンドビレットのデンドライト組織を示す。ラウンドビレットの柱状晶は外周部より中心部に向かい均一に発達している。溶鋼過熱度の低い ( $\Delta T = 16^\circ\text{C}$ ) 铸件は等軸晶生成領域が非常に広く、中心部のセンターポロシティも軽微であり後の製管工程においても問題のないことが確認されている。しかし溶鋼過熱度の高い ( $\Delta T = 33^\circ\text{C}$ ) 铸件は等軸晶の発達がかなり抑制され中心部には不連続なセンターポロシティが生成され製管上の注意が必要である。

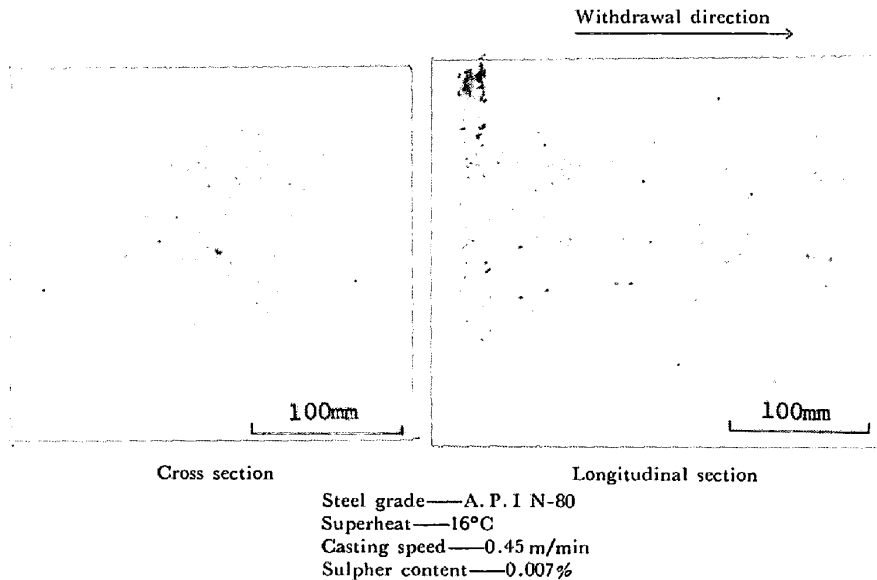


Photo. 2. Sulphur print of cast round billet.

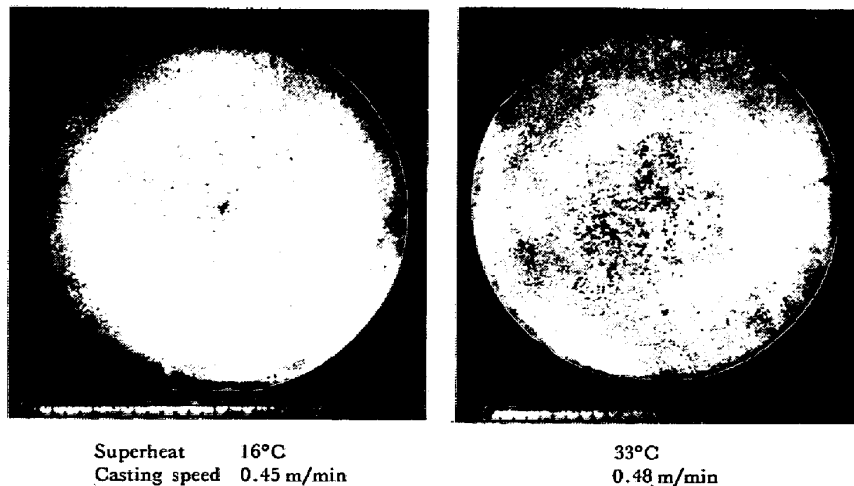


Photo. 3. Difference of solidification structures between billets cast with superheat 16°C and with Superheat 33°C.

5.4 等軸晶厚さ

Fig. 4 に示されるように [C]=0.10~0.25% の領域におけるタンディッシュ内溶鋼過熱度とラウンドビレットの等軸晶率(厚さ率)の間には明瞭な関係が認められる。この関係より安定して等軸晶を生成させるためには溶鋼過熱度は 25°C 以下にすることが望ましいが、実操業における低温铸込みはノズル閉塞などの危険性を有するため、事実上困難である。またラウンドビレットの等軸晶の生成域を和歌山製鉄所第2製鋼工場の種々のモールドで铸込まれた铸片の等軸晶厚さと比較し Fig. 5 に示す。今回のラウンドビレットも含めて铸片の形状に関係

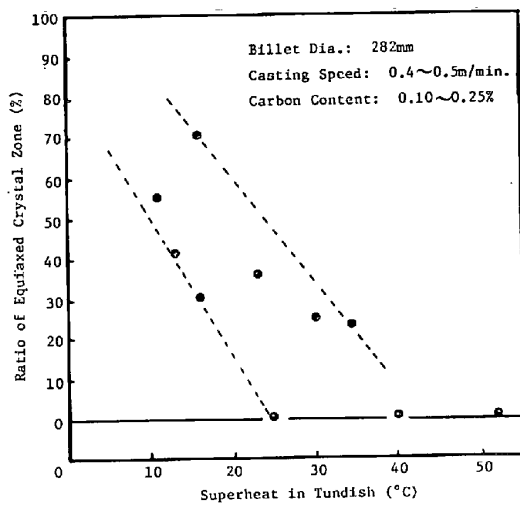


Fig. 4. Effect of superheat in tundish on formation of equiaxed crystal zone at strand center.

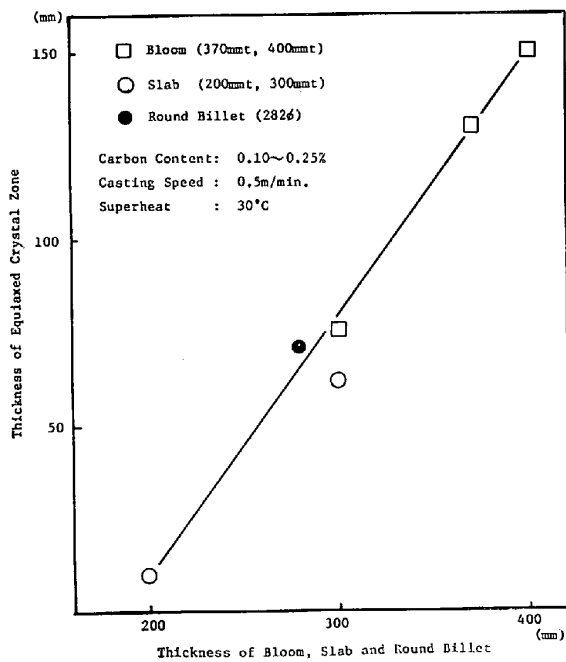


Fig. 5. Effect of strand thickness on formation of equiaxed crystal zone at strand center.

なく铸片厚が増大するほど等軸晶の厚みも増大しており、連続における凝固を考えるうえで興味深い。

5.5 鋼中酸素量

ラウンドビレットの鋼中酸素量を Fig. 6 に示す。溶鋼過熱度 20°C 以下では鋼中全酸素量は 20 ppm 前後であり非常に清浄なビレットが得られている。溶鋼過熱度 20°C 以下では鋼中全酸素量にばらつきが生じ全酸素量は 40~50 ppm と若干高いものも出現するようになる。これは主として鋼中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量が増加するためであり、鋼中全酸素量及び介在物量減少の観点からはタンディッシュ内溶鋼過熱度を確保し高温铸込み操業を行うことが望ましい。

5.6 成分偏析

ラウンドビレットの溶鋼過熱度と成分偏析の関係を Fig. 7 に示す。3mmφドリルサンプルによる各成分の成分偏析度は max. 1.3 程度と低く大断面ブルーム並に

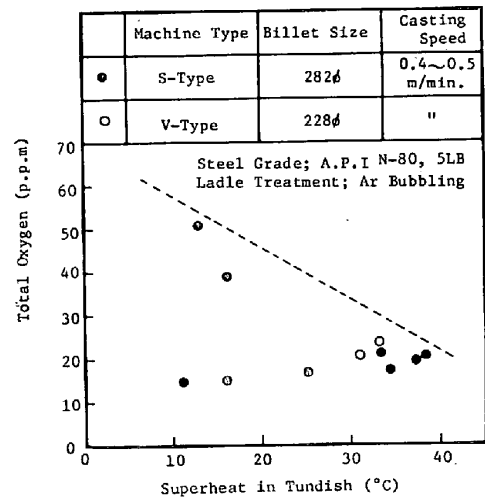


Fig. 6. Relation between superheat in tundish and total oxygen analysis of billet.

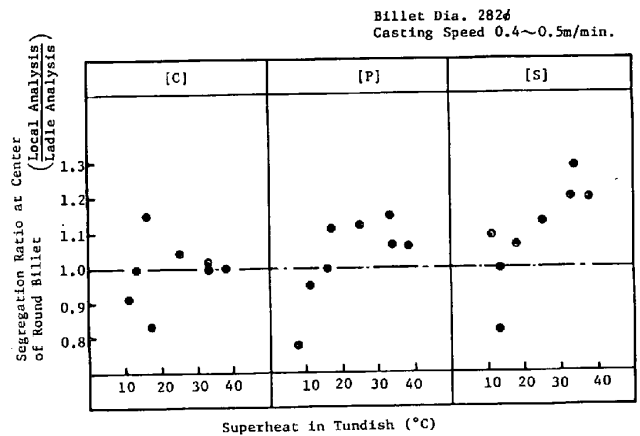


Fig. 7. Change in segregation ratios of [C], [P] and [S] at center of bloom. (Sampled by 3.0 mm dia. drill)

良好である。成分偏析の程度は鑄片中心部の等軸晶率とある程度の相関が Fig. 8 より認められる。282φ ラウンドビレットにおいては等軸晶率 50% 以上を確保すれば成分偏析は 1.0 に近い結果が安定して得られるはずである。

### 6. 回転磁石攪拌法による鑄片品質改善

#### 6.1 回転磁石攪拌装置

装置の概要を Fig. 9 に示す。溶鋼の攪拌はモールド直下に設置された 200 mm 幅の永久磁石 (SmCo5) を油圧モーターにて回転させる方法により実施した。永久磁石の回転数は max 200 r. p. m まで可能な装置とした。

#### 6.2 攪拌テストの結果

連鑄鑄片の磁気による回転の効果は電磁力では整理が困難であり、固液界面に作用する剪断力 ( $\tau_w$ ) で整理されるべきである。今回の装置においては永久磁石の使用により磁場は一定であり、剪断力は磁石の回転数によって決定され両者の関係は Fig. 10 のように示される。実

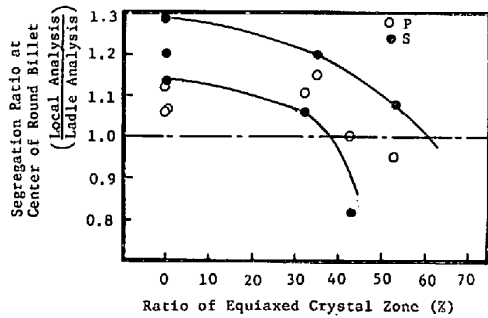


Fig. 8. Relation between segregation ratio of sulphur at center of round billet and ratio of equiaxed crystal zone. (3.0 mm drill sample)

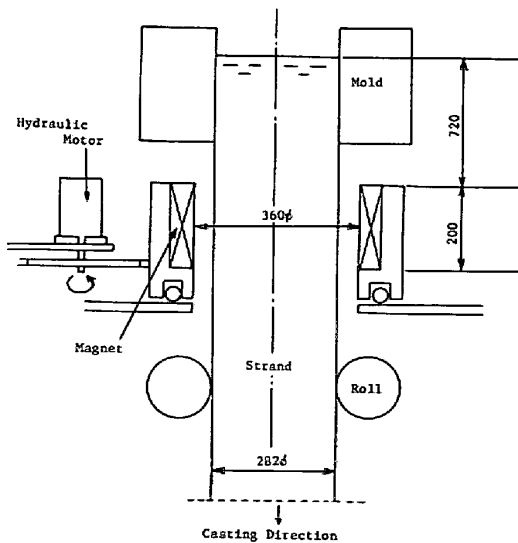


Fig. 9. Schematic illustration of rotating magnet stirrer.

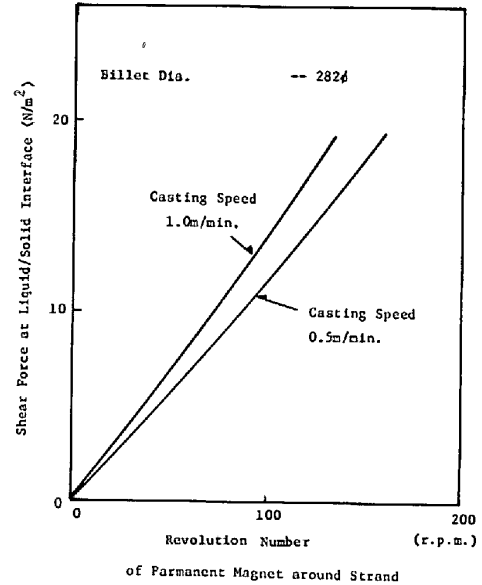


Fig. 10. Relation between revolution number of rotating magnet and shear force at liquid/solid interface.

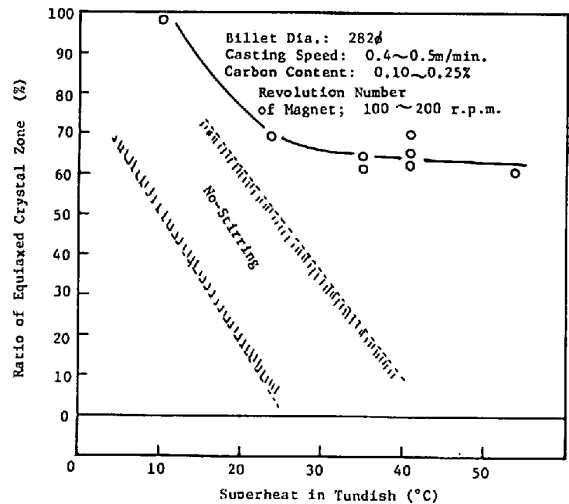
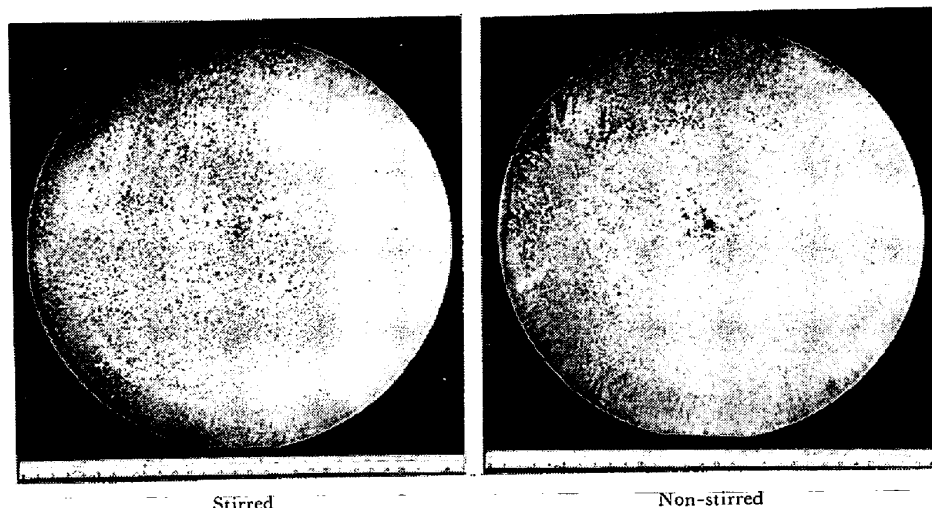


Fig. 11. Effect of superheat in tundish on formation of equiaxed crystal zone in round billet casting with rotating magnet stirrer.

験室における基礎実験の結果及びスラブ連鑄材における静磁場通電法<sup>9)</sup>による攪拌テストの結果などより、通常の炭素鋼ではメニスカスより約 1 m の位置において必要な磁石の回転数は通常の鑄込み速度の範囲では約 100~200 r. p. m と推定される<sup>10)</sup>。回転磁石攪拌法にて鑄片の等軸晶は Fig. 11 のように著しく増大され、高温領域においても高い等軸晶率を安定して得ることが可能となった。Photo. 4 に溶鋼過熱度 41 $^{\circ}C$  でのデンドライト組織を示す。等軸晶厚が大幅に増大されると共に中心部のセンターポロシティは軽微になつている。攪拌による溶鋼の流動が対称的な丸鑄片においては、攪拌の効果は



Stirred

Non-stirred

Steel grade—A. P. I N-80  
 Superheat—41°C  
 Casting speed—0.5 m/min  
 Revolution speed—150 r. p. m.

Photo. 4. Improvement of solidification structure of billet with rotating magnet stirrer.

極めて顕著に現れると考えられる。

## 7. 結 言

スラブ用連続鋳造設備を改造しラウンドビレット鋳込み試験を行った。強固な一体物モールド、スプレイパターン、浸漬ノズルのデザイン及びモールド直下での回転磁石法 (R. M. S) による溶鋼攪拌などの改善を実施した結果、得られた丸鋳片は表面、内質共に良好で、継目無鋼管用素材として十分に実用化可能であることが明らかとなった。

## 文 献

- 1) B. TARMANN and W. POPPMEIER: Radex-Rundschau, 6 (1964), p. 357
- 2) MITTE: Lungen der Mannesman AG. an die Verfasser
- 3) R. TOVINI: B. T. F, March (1970)
- 4) Steel, 158 (1966) 3, p. 25
- 5) Iron Age Metalworking International, Feb. (1969)
- 6) 打田安成, 武居博道, 海内一仁, 梅村育寛, 古賀成典, 金子信義: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 246
- 7) 梨和 甫, 吉田圭治, 友野 宏, 荒木 宏, 木村和成, 辻田 進: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 247
- 8) 梨和 甫, 吉田圭治, 森 明義, 友野 宏, 辻田進: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 247
- 9) 白岩俊男, 杉谷泰夫, 小林純夫, 石村 進, 岡峯卓, 安元邦夫: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 194
- 10) 杉谷泰夫, 小林純夫, 吉原正裕, 石村 進: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 201