

- 9) H. SCHENCK, M. G. FROHBERG & H. GRAF: Arch. Eisenhüttenw., 29 (1958), p. 673  
 10) J. CHIPMAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 180 (1955), p. 97  
 11) 的場, 笠松: 学振資料 19 委 5107 (1958)  
 12) 的場, 不破: 同上 19 委 5593 (1959) より転載  
 13) H. WENTRUP & O. REIF: Arch. Eisenhüttenw., 20 (1949), p. 359  
 14) F. C. LANGENBERG: J. Metals. Aug. (1956), p. 1099

## 連続鋳造における二次冷却について\*

(鋼の連続鋳造に関する研究—II)

明 田 義 男\*\*・牛 島 清 人\*\*

### On the Secondary Cooling of Continuous Casting.

(Study on continuous casting of steel—II)

Yoshio Aketa and Kiyoto Ushijima

#### Synopsis:

A series of experiments on the secondary cooling of continuous casting of steel was carried out. As the authors defined in the first report, it was stated that the solidification in the spray zone was "the secondary solidification" and the cooling of this stage was "the secondary cooling".

Based on the principle of normal ingot casting, authors thought that main factors affecting the secondary solidification of continuous casting should be as follows:

Evenness of cooling in the spray zone  
 Intensity of the spray cooling  
 Casting temperature  
 Casting speed

Experiments on the relationship between these factors and their effects on continuous cast billet mainly of square type revealed the following facts:

(1) To prevent deformation and cracks of billets, it was necessary to set up roller aprons and to keep evenness of the spray cooling. (Photo. 1)

(2) Intensity of the spray cooling affected on inner cracks of billets. There was the limit intensity of spray cooling for each grade of steel to get rid of inner cracks of billets (Table 2, 3 and Photo. 2).

(3) Too high casting temperature induced inner cracks of billets (Table 5 and Photo. 3). These relationships in continuous casting were just the same as those in normal ingot casting. Although not confirmed experimentally, the limit intensity of the spray cooling should be varied with casting speed.

#### I. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において、鋼の連続鋳造における溶鋼の凝固過程を、鋳型内における鋳片外層部の凝固と、これに続く水のスプレー帯における鋳片内部の凝固とに分け、前者を一次凝固、後者を二次凝固と呼び、それぞれの凝固を支配する冷却過程をおのおの一次冷却ならびに二次冷却と呼ぶことにした。そして、一次冷却の諸因子が一次凝固すなわち鋳片外層部の性状におよぼす影響について述べた。本報においては上記のごとく定義した二次冷却が

鋳片の性状におよぼす諸種の影響について述べる。

さて二次冷却は、鋳片内部の凝固の進行すなわち二次凝固を支配するばかりでなく、すでに凝固の完了した鋳片外層部すなわち一次凝固部の冷却をも支配する。高温でしかも内部がなお熔融状態にある鋼の外層表面に水のスプレーを施す、この連続鋳造独特の冷却過程は、普通造塊法における冷却過程とは全く趣を異にするものであ

\* 昭和 34 年 11 月本会講演大会にて発表

\*\* 住友金属工業株式会社車輛鋳鍛事業部

るが、その冷却を支配する本質的な諸因子は何ら変わらないと考える。この諸因子とは冷却の均一性、冷却の強さ、鑄込温度、鑄込速度などであつて、これらの諸因子を適切な条件下に設定することによつて、始めて健全な鑄片が得られるべきである。

しかるに連続鑄造における二次冷却と鑄片の性状との関係については、従来幾多の報告<sup>2)~16)</sup>があるが、それらはいずれも断片的かつ定性的な報告に過ぎず、鑄造指針を具体的に示すよりは資料は少ない。たとえば I. M. D. HALLIDAY<sup>12)</sup> および P. THOMAS<sup>14)</sup> らは不均一な二次冷却が鑄片の变形や割を招くとしており、また K. G. SPEITH と A. BUNGEROTH<sup>2)</sup> および B. N. KATOMIN と V. S. RUTES<sup>9)</sup> らは約 1l/kg of steel 以上の水のスプレーを施すと鑄片内部に割が発生することを報告しているに止まる。

本報告は、連続鑄造におけるこの二次冷却が、鑄片の外層部および内部の性状におよぼす影響に関して行なつた実験結果について述べるものである。

本実験においては、エルー式塩基性電気炉(公称 8 t)で溶製した、キルド鋼を、強制往復運動鑄型式垂直型鋼連続鑄造機に鑄込み、鑄片とした。

## II. 実 験 結 果

### 1. 冷却の均一性の影響

正方形断面の鑄片に関して、4 面おのおの冷却の相対的均一性が鑄片の性状におよぼす影響について実験を行なつた。

すなわち Si-Mn ばね鋼 (0.55/0.65% C, 1.50/1.80 %Si, 0.70/1.00%Mn) 2 溶解を、105mm  $\phi$  鑄型に鑄込んだ。その際、溶解条件および鑄込条件をほとんど同一条件に揃え、水のスプレーによる二次冷却の相対的均一性のみをつぎのごとく変えて鑄込んだ。

(1) ローラー・エプロン (Roller Apron) を使用せず、水のスプレーのみ

(2) ローラー・エプロンと水のスプレーの併用

ここでローラー・エプロンとは Fig. 1 に示すごとき装置で、水のスプレーと鑄片表面との距離を各面とも均一に保ち、二次冷却の相対的均一性を維持すると同時に鑄型内で凝固した鑄片外層部の、溶鋼静圧による変形を防止する機能をも併せ持つものである。

おもな鑄込条件は Table 1 に示すとおりである。なおこの際、一次冷却条件は第 1 報<sup>1)</sup>において明らかにした原則にしたがつて、適切な条件を選んだ。

この結果、Photo. 1 に示すようにローラー・エプロンを使用せず水のスプレーのみを施した場合には、鑄片

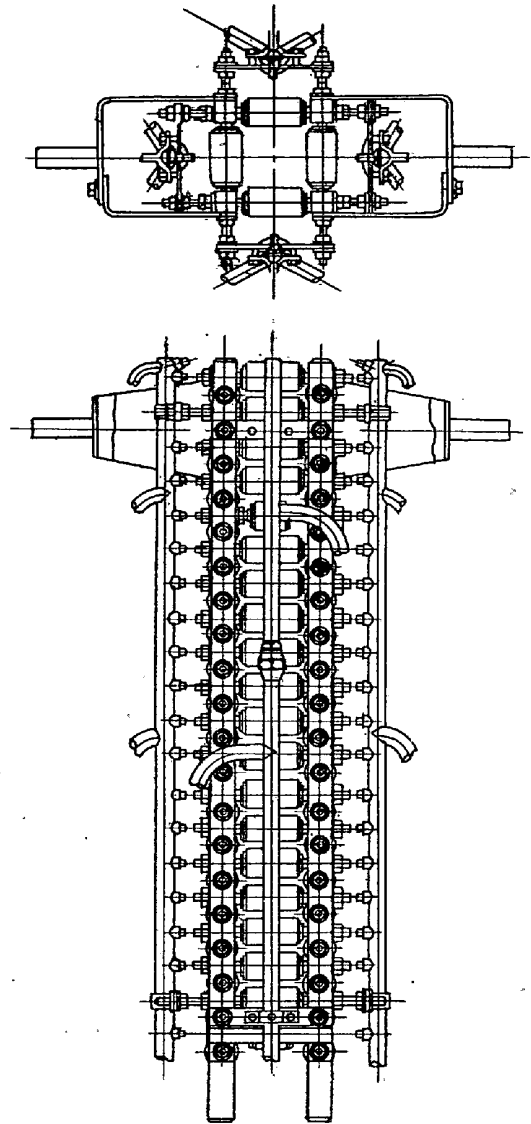


Fig. 1. Roller apron.

Table 1. Main casting conditions in the experiment on evenness of the secondary cooling.

| Spray zone           | Casting temperature (°C) | Casting speed (mm/mn) | Water blow of spray cooling (l/mn) |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Without roller apron | 1525~1480                | 1600±100              | 170±10                             |
| With roller apron    | 1510~1480                | 1600±100              | 170±10                             |

が変形しかつ外層部および内部に割が発生したが、ローラー・エプロンと水のスプレーとを併用した場合には、鑄片に全く割が発生せず、もちろん変形もなかつた。

変形がなくしたがつて外層部の割がなくかつ内部割もない鑄片を得るためには、二次冷却において、ローラー・エプロンと水のスプレーとを併用する必要があることが解つた。

(1) Without roller apron  
(uneven cooling)(2) With roller apron  
(even cooling)

Photo. 1 Effect of evenness of the secondary cooling.

{Si-Mn spring steel, 105mm  $\phi$  billet}  
{etch: 1:1 HCl, 70°C, 30mn}

なおこの実験においては第1報<sup>1)</sup>で示したような鋳片表面の縦割は全く発生しなかった。

## 2. 冷却の強さの影響

水のスプレーによる冷却の強さが鋳片内部の性状におよぼす影響について実験を行なった。

(1) Si-Mn ばね鋼の場合: Si-Mn ばね鋼 (0.57% C, 1.52% Si, 0.78% Mn) を, 91mm  $\phi$  鋳型に鋳込み, その際鋳込条件をほとんど同一条件に揃え, 二次冷却のスプレーの水量のみを変化せしめた。おもな鋳込条件は Table 2 に示すとおりである。

Table 2. Main casting conditions in the experiment on water flow of secondary cooling (Si-Mn steel)

| Billet No. | Casting temperature (°C) | Casting speed (mm/mn) | Water flow of the secondary cooling |                 |
|------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|
|            |                          |                       | (l/mn)                              | (l/kg of steel) |
| i          | 1515                     | 2050                  | 260                                 | 1.95            |
| ii         | 1515                     | 2050                  | 230                                 | 1.72            |
| iii        | 1515                     | 2050                  | 180                                 | 1.35            |
| iv         | 1515                     | 2050                  | 150                                 | 1.13            |

もちろんローラー・エプロンを使用し, 鋳片各面に対する相対的冷却の均一性を維持した。なおこの際一次冷却条件は第1報<sup>1)</sup>において明らかにした原則にしたがって, 適切な条件を選んだ。

この結果, どの鋳片の横断面, 縦断面のマクロ腐蝕組織およびサルファー・プリントにおいても内部割は全く発生しなかった。もちろん鋳片の変形ならびに変形によつて生ずる外層部の割も発生しなかった。すなわち本鋼種については, 二次冷却のスプレーの水量は 2l/kg of steel~1.1l/kg of steel の範囲に変化せしめても, 鋳片には全く内部割が発生しないことが解つた。

(2) 中炭素鋼の場合: 中炭素鋼 (0.55% C, 0.31% Si, 0.62% Mn) を 91mm  $\phi$  鋳型に鋳込み, その際鋳

込条件をほとんど同一条件に揃え, 二次冷却のスプレーの水量のみを変化せしめた。おもな鋳込条件は Table 3 に示すとおりである。この場合ももちろんローラー・エプロンを使用し, 鋳片各面に対する相対的冷却の均一性を維持した。なお一次冷却条件は第1報<sup>1)</sup>において明らかにした原則にしたがって, 適切な条件を選んだ。

この結果 Photo. 2 に示すように, 二次冷却のスプレー水量の多い場合には, 鋳片内部に強い S の偏析を伴う割が発生したが, スプレー水量を減少せしめた場合には, 鋳片内部の割は全く消失

Table 3. Main casting conditions in the experiment of water flow of the secondary cooling (medium C steel).

| Billet No. | Casting temperature (°C) | Casting speed (mm/mn) | Water flow of the secondary cooling |                 |
|------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|
|            |                          |                       | (l/mn)                              | (l/kg of steel) |
| i          | 1490                     | 2050                  | 280                                 | 2.10            |
| ii         | 1485                     | 2050                  | 220                                 | 1.65            |
| iii        | 1480                     | 2050                  | 170                                 | 1.28            |
| iv         | 1475                     | 2050                  | 140                                 | 1.05            |

した。なお鋳片の変形ならびに変形によつて生ずる外層部の割はいずれの場合にも発生しなかった。

すなわち内部割のない健全な鋳片を得るためには, 二次冷却においてスプレーの水量を一定量以下に減少せしめる必要のあることが明らかとなつた。本鋼種を, ここで示した鋳込条件で鋳込む場合のこの限界スプレー水量は約 1.1 l/kg of steel である。

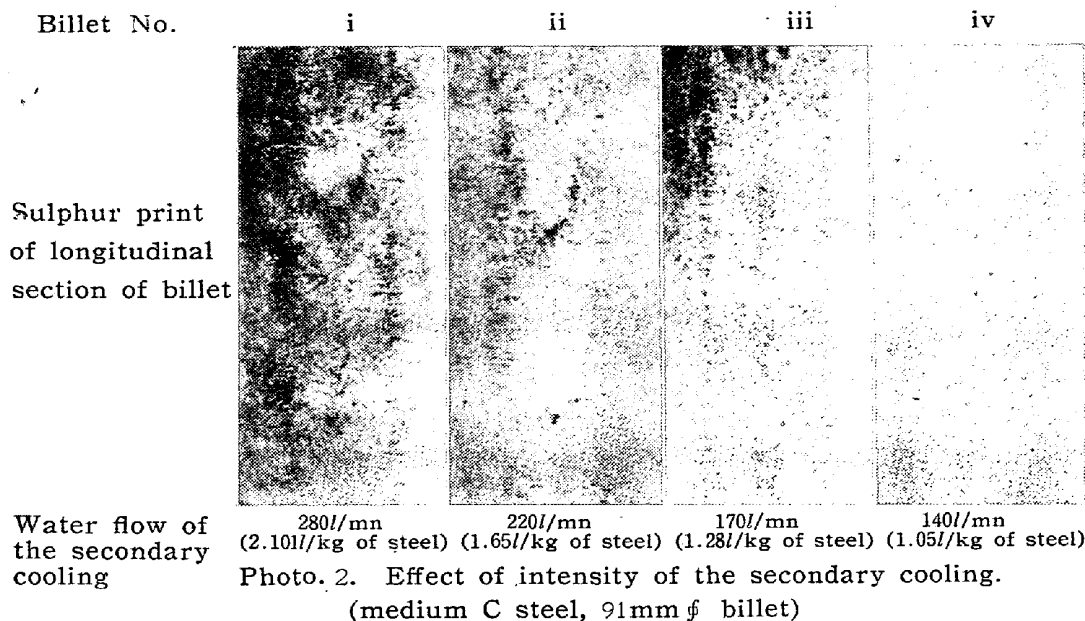
なおこの実験においても第1報<sup>1)</sup>で示したような鋳片表面の縦割は全く発生しなかった。

上記 (1) および (2) の2実験からつぎのことが明らかとなつた。すなわち内部に割のない健全な鋳片を得るためには, 二次冷却のスプレー水量を一定量以下にする必要があり, かつその限界スプレー水量は, 鋼種によつて特有の値が存在する。

## 3. 鋳込温度の影響

鋳込温度が鋳片内部の性状におよぼす影響について実験を行なった。

すなわち中炭素鋼 (0.64% C, 0.40% Si, 0.61% Mn) を 91mm  $\phi$  鋳型に鋳込み, その際鋳込条件をほとんど同一条件に揃え, 鋳込温度のみを 1510~1460°C に変化せしめた。おもな鋳込条件は Table 4 に示すとおりである。いうまでもなくこの場合にも二次冷却において, ローラー・エプロンを使用し, 鋳片各面に対する相対的冷却の均一性を維持し, かつ冷却の強さは前述の限界



この結果 Table 5 に示すとおり、鑄込温度の高い場合には、鑄片の内部に強いSの偏析を伴なう割が発生したが、鑄込温度の低い場合には全く内部割は発生しなかった。なお鑄片の変形ならびに変形によつて生ずる外層部の割も発生しなかった。これらの鑄片の横断面のサルファー・プリントは Photo. 3 に示すとおりである。

本鋼種をここで示した

Table 4. Main casting conditions in the experiment on casting temperature.

| Casting temperature (°C) | Casting speed (mm/mn) | Water flow of the secondary cooling (l/mn) |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| 1510~1460                | 2050 $\pm$ 100        | 140 $\pm$ 10                               |

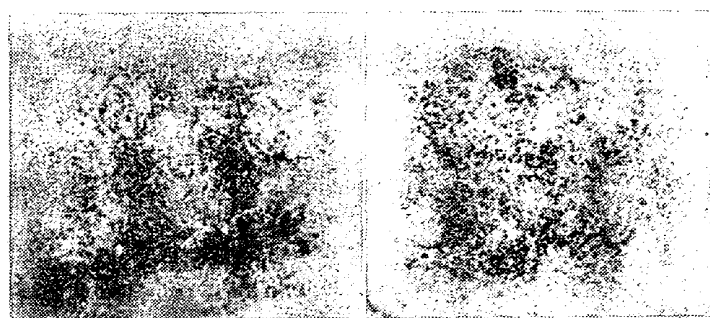
Table 5. Relationship between casting temperature and inner cracks of billets.

| Casting temperature (°C) | 1510 | 1500 | 1490 | 1480 | 1470 | 1460 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Inner crack of billet    | ●●●  | ●●●  | ○●   | ○●○  | ○●   | ○    |

● inner crack

○ free from inner crack

スプレー水量以下とした。また一次冷却条件も第1報において明らかにした原則にしたがつて、適切な条件を選んだ。



Casting temperature 1510°C    Casting temperature 1460°C  
Photo. 3. Effect of casting temperature.  
(Medium C steel, 91mm  $\phi$  billet sulphur print)

鑄込条件で鑄込む場合の鑄片内部割の発生する限界鑄込温度は、約 1490°C であることが解つた。

いうまでもなくこの実験においても第1報りで示したような鑄片表面の縦割は全く発生しなかった。

### III. 結 言

鋼の連続鑄造における二次冷却の諸因子、すなわち冷却の均一性、冷却の強さ、鑄込温度などについて諸種の実験を行なつた。その結果、外層部および内部に割がなく、かつ変形もない健全な鑄片を得るための適正条件を本連続造鑄機に関して定量的に明らかにした。

鑄片の変形がなくかつ外層部および内部に割を発生せしめないような二次冷却の適正条件とは、ローラー・エプロンを使用して鑄片各面の相対的冷却の均一性を維持し、鋼種に応じた適正スプレー水量を選び、かつ過度の高温鑄込みをさけることである。内部がなお溶融状態にあり、しかも外層部はすでに凝固したとはいきわめて高温の状態にある鋼を冷却する。この二次冷却を適正な条件下に設定することは、鋼の連続鑄造実現に際して最も重要な過程の1つであると考ええる。これらの適正な諸条件は、普通造塊法において鋼塊を鑄造する場合の根本原則と、本質的には全く同一である。

また連続鑄造において、鑄込速度を増大せしめた場合は、これに応じて鑄片に内部割を発生せしめない限界スプレー水量の絶対値が増大することはいうまでもないことである。

第1報および第2報を通じて、われわれは当事業部の単列強制往復運動鑄型式垂直型鋼連続鑄造機（平均鑄造

速度 8 t/h) に関する。一次冷却および二次冷却の適正条件を定量的に明らかにすることができた。

終りに本研究を指示され、また結果の発表を御許可下さいました木島辰二専務取締役ならびに小出秋彦常務取締役役に深甚なる敬意を表します。また研究の遂行に当り絶えず御鞭達戴いた吉井重雄事業部副部長、工学博士住友元夫中央研究所副所長ならびに宮内弘平研究部長に感謝の意を表するとともに、直接御指導戴いた理学博士大中都四郎第二製造部長に深く感謝するしだいであります。  
(昭和35年4月寄稿)

### 文 献

- 1) 明田義男, 佐々木寛太郎, 牛島清人: 鉄と鋼, 45 (1959), 12, p.1341
- 2) K. G. SPEITH u. A. BUNGEROTH: Stahl u. Eisen 72 (1952), 5, p.869
- 3) H. G. De YOUNG: Preprint of Paper to be Read before General Meeting of A.I.S.I. May, (1956)
- 4) I. HARTER: Iron & Steel Eng., (1956), 4, p.58
- 5) M. S. BOJTJENKO, V. S. RUTES & H. A. NIKOLAJEFF: STAL, 16 (1956), 6, p.505
- 6) K. G. SPEITH u. A. BUNGEROTH: Forschungs-Berichte des Wirtschafts und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, (1956), No.234, p. 1
- 7) J. HOFMAIER: Stahl u. Eisen, 77 (1957), 2, p.92
- 8) B. N. KATOMIN & V. S. RUTES: Izvestiya Akademii Nauk, SSSR, OTN, (1957), 1, p.123
- 9) N. CHVORINOV: Hutnické, 12 (1957), p.196
- 10) G. WILZ et M. PETITDIDIER: Rev. Mét., 55 (1958), 5, p.486
- 11) G. C. OLSON: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 190 (1958), 9, p.195
- 12) I. M. D. HALLIDAY: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 190 (1958), 9, p.417
- 13) H. KRAINER & B. TARMANN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 190 (1958), 10, p.105
- 14) P. Thomas: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 190 (1958), 11, p.112
- 15) K. G. SPEITH & A. BUNGEROTH: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 190 (1958), 10, p.158
- 16) B. H. C. WATERS, W. H. PRITCHARD, A. BRAYBROOK & G. T. HARRIS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 190 (1958), 11, p.233

## 反射電子回折による砂きずを構成する非金属介在物の研究\*

成 田 貴 一\*\*・森 憲 二\*\*

### Investigation of Non-Metallic Inclusions Constituting Sand Marks by Electron-Diffraction Reflection Method.

Kiichi Narita and Kenji Mori

#### Synopsis:

Electron-diffraction reflection method is applied for the identification of nonmetallic inclusions in steels.

The local analysis of nonmetallic inclusions is very difficult with the exception of use of an electron probe microanalyser developed recently. Notwithstanding the use of the electron probe microanalyser, only the composition of elements constituting the nonmetallic inclusions can be known. On the other hand by means of a crystallographical determination, the modification of the compound constituting the sand marks, could be identified. Hence an electron diffraction method may be considered preferable for the purpose which presume the origin of the sand marks from the knowledge of nonmetallic inclusions constituting it.

The results obtained are as follows:

- 1) Corundum ( $\alpha$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and Hercynite ( $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) are identified in the nonmetallic inclusions constituting the complicated or mixed type sand-marks in Cr-Mo steel deoxidized with aluminum
- 2) Titanium nitride ( $\text{TiN}$ ) is identified from the sand marks in 18-8 stainless steel containing titanium and molybdenum.

\* 昭和34年11月本会講演会にて発表

\*\* 株式会社神戸製鋼所中央研究所