

Fig. 1. Solidification of the runner. (Diameter; 5cm)

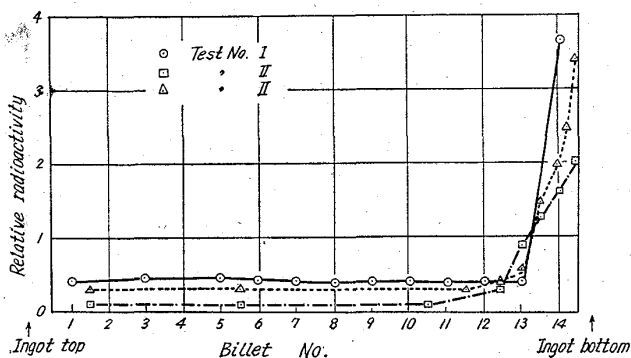


Fig. 2. Radioactivity distribution along the longitudinal direction of the billets.

て ^{198}Au の最高濃度を示す位置を求めたところ、偏心していることがわかった。

これらのことから、注入管・湯道を通過した ^{198}Au を含む押湯は鋼塊底部より入り、鋼塊底部のすでに凝固した部分に一部分トラップされ、残りは注入終了から押湯開始までに生成した鋼塊内のパイプを埋めるべく鋼塊上部まで流動し、かつ押湯に伴う鋼塊内の湯動きは、 ^{198}Au 濃度が鋼塊 top から 3/4 の範囲にわたってかなり均一な分布をなすほど著しいものであると推測される。

IV. 結 言

下注ぎ水張り押湯法において、注入終から押湯開始までの時間を 50sec から 2 min 40sec まで変えて、 ^{198}Au を押湯の際に注入管に投入し、その行方を放射能測定法およびオートラジオグラフ法によつて追跡し次の結論を得た。

- 1) 外径 5cm の湯道横断面の未凝固断面積は、注入終了から押湯開始まで 2 min 40sec 経過後も約 6cm^2 存在した。
- 2) 湯道煉瓦継目部分では凝固が進み、鋼塊底部に面する部分は凝固がおくれた。
- 3) ビレットの放射能分布は、鋼塊底部相部の極めて高い部分を除き広範囲に亘つて均一である事から押湯に伴い鋼塊全長におよぶ湯動きが生じた事が推定された。
- 4) 7~8 min 間の注入時間中の注入管内の凝固厚さは高々 2mm 程度であつた。

文 献

- 1) 加藤, 他: 製鉄研究, 228 (1959) p. 2579

(60) 各種鋼の連続铸造条件と鑄片の品質について

(鋼の連続铸造に関する研究—I)

神戸製鋼所, 高砂工場

井上 正義・工博 西原 守

〃 中央研究所

〇鈴木 章・中野 平・高田 寿

〃 岩屋工場 中島 弘明

〃 中央研究所 鈴木 武

On Continuous Casting Conditions and Qualities of Continuous Casting Ingots of Various Steels.

(Study on continuous casting of steel—I)

Masayoshi INOUE, Dr. Mamoru NISHIHARA

Akira SUZUKI, Taira NAKANO

Hisashi TAKADA, Hiroaki NAKAZIMA

and Takeshi SUZUKI

I. 緒 言

鋼の連続铸造は、歩留りの向上と分塊工程の省略による圧延鋼材のコストダウンを目的として、昭和 33 年頃からようやく工業化されはじめたが、その後連続铸造機ならびに铸造技術の改良進歩により、大容量の溶湯を処理し得るようになり、鉄鋼業界の注目をあび、最近急速に進展してきている。

われわれは昭和 34 年に、Fig. 1 にその概略を示すような垂直型連続铸造機の pilot plant を設計製作し、以来今日まで、炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼、高速度鋼など、ほとんどあらゆる鋼種にわたり、連続铸造試験を行ない、健全な鑄片を得るための铸造条件（铸込温度、铸込速度、一次二次冷却など）と鋼種との関連を把握することができ、適正铸造条件は鋼種により相当大きな差のあることを確認した。また連続铸造片の圧延試験も実施し、その製品品質についても調査したので、その概要を報告する。

II. 実験結果

1) 試験設備

試験に用いた pilot plant の概要は次の通りである。なお溶解は 333 kVA 塩基性高周波炉を使用した。

最大鑄片: 168mm ϕ

引出速度範囲: 300~1400mm/min

一次冷却水量: max. 160 t/hr

二次冷却水量: max. 25 t/hr

鑄型の上下運動条件: 上下距離 10mm, 上下回数 70 回/min (引出速度 1200mm/min の場合) 上下速度一時間曲線, 正弦波曲線

2) 铸造条件

連続铸造法により鋼片を铸造する場合、その品質に影響する因子としては、铸込温度、铸込速度（引出速度）、一次冷却、二次冷却などがあげられるが、これらの条件は鋼種によりそれぞれちがってくるのが当然であり、また、これらの条件の間には相互に関連がある。さらにこれらの条件は鑄片サイズによつて変ってくるが、本実験では 110mm 中に一定した場合について検討した結果について述べる。

i) 铸込温度

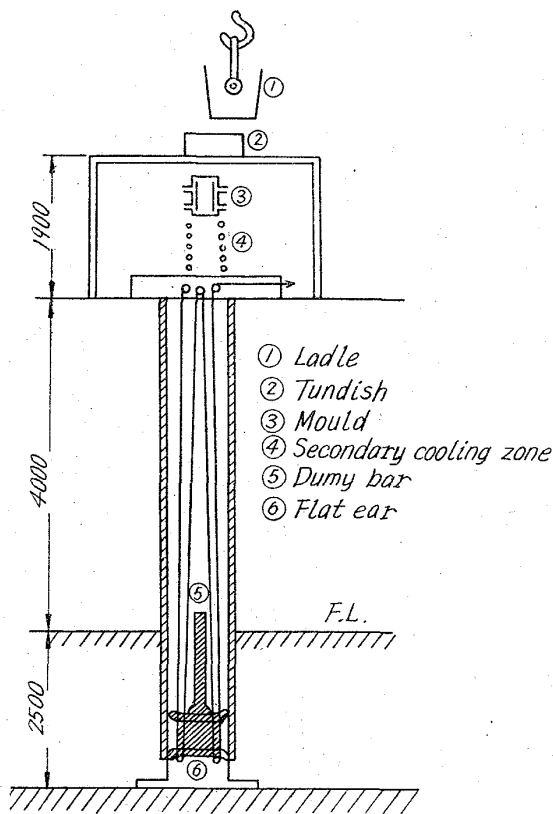


Fig. 1. Diagram of the vertical continuous casting pilot plant.

鑄込温度は液相線より 50°C 高い温度が標準と考えられているが、鋼種により流動性を考慮して多少上下させねばならない。

鑄肌に対しては鑄込温度の比較的高い方が良く、低い場合にはスカムの巻込などが多くなり、鑄肌が悪くなり易い。しかし一方、あまり高すぎると rupture を起し易く、鑄片内部の欠陥に対しても鑄込温度の低い方が、中心付近に存在する収縮孔が少なくなる。したがって、鑄造する鋼種により適正な鑄込温度があり、これを Table 1 に示す。すなわち、オーステナイト系不銹鋼に比し、流動性のやや悪いフェライト系不銹鋼は幾分高めの鑄込温度の方がよく、高速度鋼、軸受鋼など凝固温度範囲の広い鋼に対しては比較的低い鑄込温度が適正である。

ii) 鑄込速度 (引出速度)

鑄片サイズが一定の場合、鑄込速度は二次冷却との関連が大きいが、鑄肌に対しては高速鑄込の方が良好であ

る。しかしあまり早すぎると rupture の危険がある。一方、鑄片内部の品質に対してはおそい方が良いが、これも溶湯温度の低下、生産性などの点からなるべく早く鑄込む必要がある。試験に用いた pilot plant の設備は max. $1400\text{mm}/\text{min}$ の引出速度であるため、これ以上早い速度の試験はできなかつたが、試験範囲での適正引出速度は Table 1 に示す通りである。すなわち、オーステナイト系不銹鋼および低炭素鋼は早い速度で鑄込むことができるが、フェライト系不銹鋼、高炭素鋼、低合金鋼はそれよりおそく、凝固温度範囲の広い軸受鋼、高速度鋼はさらにおそくしなければならない。

iii) 二次冷却

一次冷却は鑄型の構造などとの関連で、水量のみで云々することはできないので、本試験では一次冷却条件を一定にして、二次冷却についていろいろ検討した。

前述のように、二次冷却は鑄込速度などと大いに関係があるが、二次冷却が弱ければ rupture の危険があり、強すぎれば内部割れを発生したり、中心部の収縮孔が大きく、パイプ状に発生する傾向がある。二次冷却も鑄込速度と同様に、鋼種により大きく条件を変える必要があり、Table 1 に示すように、フェライト系不銹鋼、低合金鋼に比し、オーステナイト系不銹鋼、低炭素鋼はやや強くすることができるが、高炭素鋼、軸受鋼では内部割れが発生し易く二次冷却を弱くする必要があり、高速度鋼はさらに弱くしなければならない。

3) 連鑄々片の品質

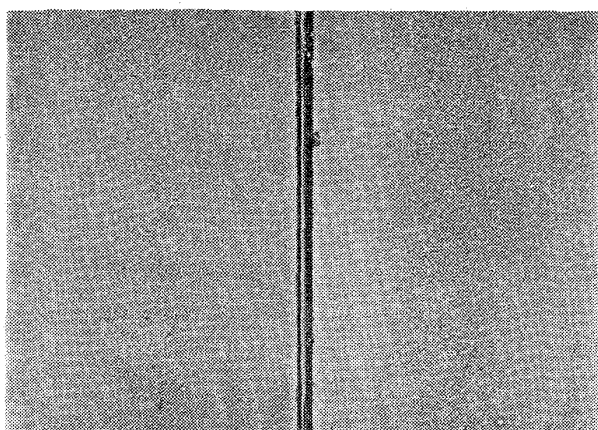
連鑄々片の断面マクロ組織を Photo. 1~2 に示す。オーステナイト系不銹鋼では柱状晶が長く伸び、中心部に自由晶が認められるが、炭素鋼 (Photo. 1)、高速度鋼は全面粒状晶となり、低合金鋼 (Photo. 2) ではその中間マクロ組織を示す。わずかではあるがいずれの場合も中心部に微少な収縮孔が認められる。また連鑄々片各部より分析試料を採取し、偏析状況を調査したが、化学成分、ガス成分共偏析はほとんど認められなかつた。

4) 連鑄々片の圧延

連鑄々片の圧延は普通の鋼塊からつくった鋼片の圧延と全く同様に問題なく行なうことができるが、問題はマクロ組織に認められるような微少な収縮孔が存在することである。これは連鑄々片内部の未凝固部分の深さが極めて大であるという連鑄特有の凝固過程を考慮すれば、ある程度の収縮孔の存在は避け得られないが、後続の圧延工程において完全に圧着するから問題はないというのが通説である。この収縮孔の圧着は鋼種、鑄片の形状

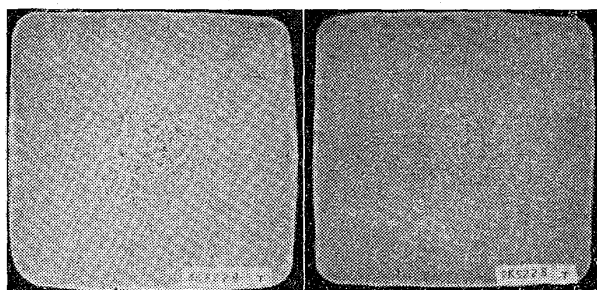
Table 1. Main casting conditions of steels.

| Kind of steel | Casting temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Casting speed (mm/min) | Secondary water quantity (t/hr) |
|----------------------------|--|------------------------|---------------------------------|
| Austenitic stainless steel | 1520~1540 | 1300~1400 | 8~12 |
| Ferritic stainless steel | 1530~1550 | 1000~1300 | 5~8 |
| Low carbon steel (S 15 C) | 1560~1580 | 1300~1400 | 8~12 |
| High carbon steel (60 C) | 1510~1530 | 800~1000 | 4~6 |
| Low alloy steel (SCM4) | 1500~1520 | 900~1100 | 7~9 |
| Bearing steel (SUJ2) | 1450~1500 | 600~900 | 3~5 |
| High speed steel (SKH 9) | 1450~1500 | 600~900 | 1~3 |



S 15 C 60 C

Photo. 1. Macrostructures of carbon steels. (1/2)



SCM 4 SUJ 2

Photo. 2. Macrostructures of low alloy steels. (1/2)

によつても若干異なるが、圧延比4~6で圧着するとされている。

本試験鑄片の中心部にも、前述したように微細な収縮孔が点在している。そこでオーステナイト系不銹鋼と、それよりやや大きい収縮孔がV状に点在している高速度鋼について、110mm φ 鑄片よりの圧延途中において試験材を採取し、マクロ腐食試験、ミクロ試験により収縮孔の圧延による圧着を調査した。その結果はオーステナイト系不銹鋼の場合、75mm φ で収縮孔は完全に圧着せず柱状品もわずか残存しているが、52mm φ では収縮孔は完全に圧着し柱状品の残存も全く認められない。一方オーステナイト系不銹鋼にくらべて収縮孔のやや大きい高速度鋼の場合は、75、56φとも収縮孔は完全に圧着せず45φで始めて完全に圧着している(写真会場揭示)。すなわちオーステナイト系不銹鋼は圧延比約5、高速度鋼は圧延比約6で完全に圧着していることを確認した。

5) 連鑄々片の圧延品の品質

各鋼種の110mm φ 中鑄片より圧延した圧延品の品質を調査し、従来の分塊鋼片、鍛造鋼片のそれと比較した。その結果を不銹鋼について Table 2, 高速度鋼について Table 3, 低合金鋼, 炭素鋼について Table 4 に示す。

連鑄々片圧延品の品質は従来材のそれに比べて、何等遜色なく、高速度鋼ではむしろ、カーバイト粒、結晶粒微細な点で秀れた品質を示している。

III. 結 言

垂直型鋼連続鑄造機の pilot plant により、炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼、高速度鋼などの連鑄条件と鑄片品質、鑄片中心部に点在する収縮孔の圧延による圧着、圧延品の品質などについて調査研究した。

Table 2. Mechanical properties of products rolled from continuous casting ingots of austenitic stainless steel.

| Kind of steel | Roll size mm φ | Tensile test | | | | Torsion test | | Heat treatment | Remarks |
|---------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|-------------|--------------------|---------------------|--|--------------------|
| | | YS (kg/mm ²) | TS (kg/mm ²) | El (%) | R.A. (%) | Number to fracture | max moment kg-cm | | |
| AISI 304 | 38 | 20.8 | 56.2 | 80 | 76 | — | — | 1100°C × 2hr W.Q. | Continuous casting |
| | | 20.8 | 56.7 | 78 | 75 | — | — | | |
| | 7 | 21.1 | 57.0 | 76 | 75 | — | — | " | Ordinary*1 casting |
| | | 20.9 | 56.2 | 76 | 75 | — | — | | |
| AISI 434A | 7 | — | 57.3 | 64 | 73 | 19.5 | 410 | 1100°C × 0.5h W.Q. | Continuous casting |
| | | — | 58.1 | 65 | 73 | 19.5 | 415 | | |
| | 7 | — | 58.3 | 64 | 74 | 18.0 | 415 | " | Ordinary*2 Casting |
| | | — | 57.9 | 66 | 74 | 18.5 | 415 | | |
| AISI 434A | 7 | — | 60.3 | 13 | 69 | — | — | 1070°C × 0.5hr O.Q. ↓ 750°C × 0.5hr A.C. | Continuous casting |
| | | — | 59.7 | 14 | 70 | — | — | | |
| | | — | 61.0 | 15 | 70 | — | — | " | Ordinary*3 casting |
| — | 59.0 | 14 | 71 | — | — | | | | |

*1 Electric arc furnace 3 t ingot $\xrightarrow{\text{bloming}}$ 130 φ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 38 φ

*2 3 t ingot $\xrightarrow{\text{bloming}}$ 110 φ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 7 φ

*3 2.5 t ingot $\xrightarrow{\text{bloming}}$ 110 φ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 7 φ

Table 3. Properties of products rolled from continuous casting ingots of SKH9.

| Roll size mm ϕ | Austenite grain size | Distri- bution of carbide | Cleanli- ness $\alpha 60 \times 400$ (%) | Presence of tusion | | Fracture | Decarbu- rization | Abnormal carbide | Remarks |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|--------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | 1230°C | 1250°C | | | | |
| 34 | 8.4 | Good | 0.07 | None | A little | Good | None | None | Continuous casting |
| | 8.2 | Good | 0.09 | None | A little | Good | None | None | Ordinary*1 casting |
| 22 | 8.9 | Good | 0.08 | None | A little | Good | None | None | Continuous casting |
| | 7.9 | Good | 0.10 | None | A little | Good | None | None | Ordinary*1 casting |
| 7 | 12.9 | Good | 0.07 | None | A little | Good | None | None | Continuous casting |
| | 10.1 | Good | 0.07 | None | A little | Good | None | None | Ordinary*1 casting |

*1 Induction furnace 300 kg ingot $\xrightarrow{\text{forging}}$ 108 ϕ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 34, 22, 7 ϕ

Table 4. Mechanical properties rolled from continuous casting ingots of low alloy and carbon steels.

| Kind of steel | Roll size mm. ϕ | Tensile test | | | | Impact value (kg m/ cm ²) | Hardness H _B | Heat treatment | Remarks |
|---------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--------|-----------|--|----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | | Y S (kg/mm ²) | T S (kg/mm ²) | El (%) | R. A. (%) | | | | |
| SCM4 | 30 | 107 | 117 | 20 | 51 | 9 | 337 | 860°C O. Q. | Continuous casting |
| | | 108 | 120 | 19 | 48 | 8 | 340 | 630°C O. T. | |
| | | 100 | 114 | 22 | 50 | 8 | 330 | " | Ordinary*1 casting |
| | | 101 | 114 | 22 | 53 | 9 | 332 | | |
| 60C | 5.5 | 58 | 95 | 11 | 39 | — | — | 975°C × 5min Air patenting | Continuous casting |
| | | 55 | 94 | 10 | 36 | — | — | " | Ordinary*2 casting |
| | | 56 | 96 | 13 | 42 | — | — | | |
| | | 55 | 94 | 12 | 41 | — | — | | |
| S10C | 5.5 | 32 | 47 | 23 | 75 | — | — | As rolled | Continuous casting |
| | | 36 | 48 | 24 | 72 | — | — | | |
| | | 31 | 48 | 24 | 77 | — | — | " | Ordinary*3 casting |
| | | 31 | 47 | 25 | 72 | — | — | | |

*1 Electric arc furnace 4t ingot $\xrightarrow{\text{blowing}}$ 130 ϕ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 30 ϕ

*2 L. D. converter 6t ingot $\xrightarrow{\text{blowing}}$ 110 ϕ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 5.5 ϕ

*3 L. D. Converter 4.5t ingot $\xrightarrow{\text{blowing}}$ 110 ϕ $\xrightarrow{\text{rolling}}$ 5.5 ϕ

連鑄条件は最終製品の用途により、あるいは要求される品質により相当大きく変えることができるが、各鋼種に対し、最適の連鑄条件下の鑄片鑄肌は極めて良好であり、一方、内部の健全性は二次収縮孔が鑄片中心部にわずかに点在するにすぎない。このような微細収縮孔は圧延比約5~6で完全に圧着し、圧延品の品質は従来の分塊鋼片あるいは鍛造鋼品よりの圧延品のそれに比べて全く遜色なく、高速度鋼などではむしろ秀れていることを明かにした。

文 献

1) W. W. JACOB: Iron & Steel Engr. 33

(1956) 12, p. 97

M. S. BOICHENKO, V. S. RUTES & H. A.

NIKOLAJEFF: Stal 16 (1956) 6, p. 505

L. F. BARNHARDT, G. E. STOCK & W. V.

PORTER: J. Metals 9 (1957) 8, p. 1050

2) J. HOFMAIER: Stahl und Eisen. 77 (1957) 2, p. 69

P. THOMAS: J. Iron & Steel Inst. 190

(1958) Oct. p. 112

M. CABANE: Steel & Coal, 27 (1962)

Opril p. 805