

$$\frac{90 \times 10^{-7}}{\sqrt{t}} = \frac{6.35 \times 10^{-5}}{(1 + 23.8t/ab)^2} - 5.16 \times 10^{-5} \dots (14)$$

種々の鑄型断面 $a \times b$ に対して、 t の値を求め Table 3 の実測値と対比させて Fig. 4 に示す。両者はよく一致しており、鑄型断面が大になると表面気泡は鋼塊表面から遠ざかることがわかる。

5. 結 言

(1) 表面気泡の鋼塊表面からの距離は脱酸度と注入速度が大になるにつれ短くなり、鑄型断面が大になると逆に長くなる。

(2) 計算値と実測値は、若干の補正を加えることにより、よく一致する。

文 献

- 1) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1871
- 2) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1874
- 3) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1877
- 4) J. CHIPMAN and C. R. FONDSMITH: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 125 (1937), p. 370
- 5) 加藤: 鉄と鋼, 43 (1957), p. 1104

(151) 表面気泡の長さについて

(セミキルド鋼塊の凝固組織に関する研究—V)
富士製鉄, 広畑製鉄所

○渡辺省三・浅野鋼一・大橋徹郎

On Length of Skin-Hole.

(Study on solidification structures of semi-killed steel ingot—V)

Shozo WATANABE, Koichi ASANO and Tetsuro OHASHI.

1. 結 言

前報にひきつづきセミキルド鋼塊の表面気泡の長さについてとりあつかう。表面気泡の長さは、表面気泡の鋼塊表面からの距離と同様、鋼片および鋼板の表面疵と密接に関係しており、それらの任意な調整は、とりもなおさず表面疵の減少に多大の効果をあたえる。

2. 実験方法および結果

実験方法および実験結果については、すでに前報にのべたので省略する。

3. 表面気泡の長さ

鋼塊内に発生した表面気泡の成長が停止するのは、溶鋼内部に CO ガス発生圧以上の圧力が生じた場合である。

その場合の条件は次式で示される。

$$P = P_a + P_{Fe} + P_0 \geq P_{CO} \dots (1)$$

ここで、 P : 溶鋼内部の全圧, P_a : 大気圧, P_{Fe} : 溶鋼の静圧, P_{CO} : CO ガス-溶鋼界面での圧損失。

この P_0 に関しては次式が与えられている¹⁾。

$$P_0 = 9.87 \times 10^{-7} (\gamma/R_0) \dots (2)$$

γ : ガス-溶鋼間の界面張力 (dyne/cm), R_0 : 表面気泡半径。いま、1500°C での溶鋼の界面張力を 1500 dyne/cc とし、表面気泡の半径を 0.1 cm として、これらの

値を (2) 式に代入すると、 P_0 は 0.015 atm となり、きわめて小さな値となる。そこでこれを無視すると、(1) 式は

$$P = P_a + P_{Fe} \geq P_{CO} \dots (3)$$

となる。

鑄型内面のある位置に着目し、その位置に溶鋼が達した瞬間を $t=0$ とすれば、それ以後 t sec 経過した後の溶鋼の静圧は、すでに前報に述べたごとく次式であたえられる。

$$P_{Fe} = 0.0017(v/ab) \cdot t \dots (4)$$

v : 注入速度 (cc/sec), $2a$: 鋼塊の長辺長さ (cm), $2b$: 鋼塊の短辺厚み (cm)。

一方、 P_{CO} については次式が成立する。

$$P_{CO} = [O] \cdot [C] / k \dots (5)$$

[O], [C]: 溶鋼中の酸素および炭素濃度 (%), k : Vacher-Hamilton の定数。

また大気圧 P_a は 1 atm なので (4), (5) 式を (3) 式に代入すると (6) 式が得られる。

$$[C] \cdot [O] / k = 1 + 0.0017(v/ab)t \dots (6)$$

また、凝固速度式は前報にて用いた補正式を用いる。

$$D = 0.30\sqrt{t} - 0.50 \dots (7)$$

したがって、CO ガス発生が停止するときまでに凝固した凝固厚みは (6), (7) 式より導かれる。

$$D \geq 0.30 \sqrt{\frac{([C]/k) \cdot [O] - 1}{0.0017(v/ab)}} - 0.50 \dots (8)$$

表面気泡の鋼塊表面からの距離を s cm, 表面気泡の長さを l cm とすると、 $D = l + s$ となり、また $[C] = 0.17\%$, $k = 2.0 \times 10^{-3} (\%/atm)$, とすると (8) 式は以下のように書き改められる。

$$l = 7.4 \sqrt{\frac{ab(85[O] - 1)}{v}} - 0.50 - s \dots (9)$$

この式が表面気泡の長さを決定する条件式となる。

4. 諸要因の影響

4.1 脱酸度の影響

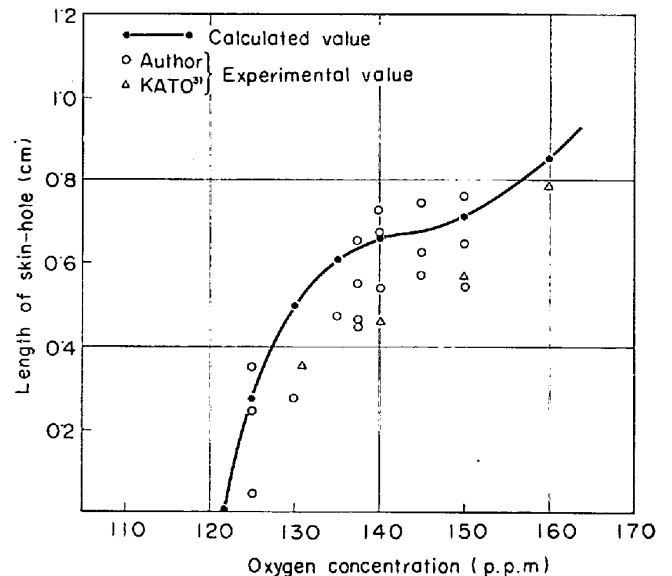


Fig. 1. Effect of oxygen concentration of length of skin-hole.

鑄型形状, 注入速度一定の場合について脱酸度 (酸素濃度) の影響を調べる. 計算条件を以下に示す.

鑄型 No II: $a=80\text{cm}$, $b=40\text{cm}$

ノズル径 60 mm, 注入開始後 6 min: $v=18000\text{cc/sec}$

この a , b , v の値を (9) 式に代入する.

$$l = 3 \cdot 12 \sqrt{85[\text{O}] - 1 - 0.50 - s} \dots\dots\dots (10)$$

これが表面気泡の長さとの関係式となる. この式に各脱酸度の場合の酸素含有量を代入する. なお, 表面気泡の鋼塊表面からの距離 s については前報で理論計算を行なっているのだから, その値を用いる. このようにして得られた結果を Fig. 1 に示し, 前報 Table 1 の実測値と対比させた. 実測値と計算値がきわめてよく一致することがわかる.

脱酸度が大きくなるにつれて (酸素濃度が低くなるにつれて) 表面気泡は短くなるが, ある酸素濃度範囲のところでは変曲域が存在し, この間では表面気泡の長さはほとんど変化しない. これは, この酸素濃度範囲のところでは表面気泡の鋼塊表面からの距離が急激に短くなるためである.

4.2 注入速度の影響

脱酸度, 鑄型形状一定の場合について注入速度の影響を調べる. 計算条件を以下に示す.

脱酸度, 取鍋 [Si]0.05% ([O]145 ppm)

鑄型 No II: $a=80\text{cm}$, $b=40\text{cm}$

この a , b , [O] の値を (9) 式に代入する.

$$l = 418 \sqrt{0.2325/v - 0.50 - s} \dots\dots\dots (11)$$

これが表面気泡の長さとの関係式となる. この式に種々の v の値を代入して l を求める. なお, s については前報で求めた値を用いた. この結果を Fig. 2 に示し, 前報の Table 2 の実測値と対比させた.

計算値と実測値の傾向はよく一致しており, 注入速度の変化に対する表面気泡の長さの変化は小さく, 注入速度は表面気泡の長さにあまり影響をおよぼさないことがわかる.

4.3 鑄型形状の影響

最後に, 脱酸度, 注入速度一定の場合について鑄型形

状の影響を調べる. 計算条件を以下に示す.

脱酸度: 取鍋 [Si]0.05% ([O]145 ppm)

ノズル径 50 mm, 注入開始後 4 min: $v=14000\text{cc/sec}$

この [O], v を (9) 式に代入することにより表面気泡長さと鑄型形状との関係が得られる.

$$l = 0.027 \sqrt{ab - 0.50 - s} \dots\dots\dots (12)$$

この式に種々の ab , s の値を代入して l を求める. このようにして得られた結果を Fig. 3 に示し, 前報の Table 3 の実測値と対比させた. 鑄型断面積が大きくなると表面気泡の長さは長くなる傾向は計算値, 実測値とも一致しているが, 両者の値には若干の差が見られる.

5. 表面気泡の生成範囲

鋼塊表面から表面気泡終端までの距離を表面気泡の生成範囲と名付けると, この表面気泡の生成範囲もまた鋼板表面疵を減少させる上で重要な問題となる. 表面気泡の生成範囲は, 表面気泡の鋼塊表面からの距離と表面気泡の長さとの和として与えられる. すなわち $s+l$ であらわされるので, (9) 式より表面気泡生成範囲 L が得ら

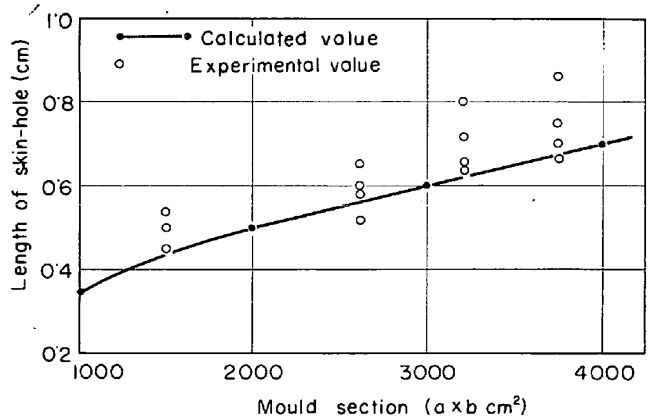


Fig. 3. Effect of mould section on length of skin-hole.

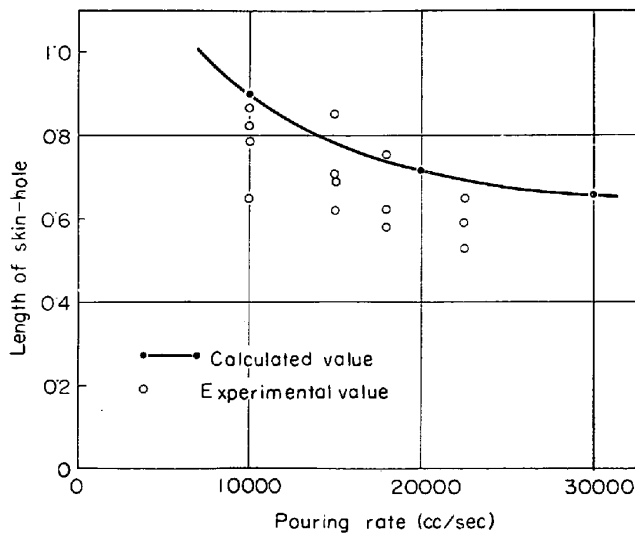


Fig. 2. Effect of pouring rate on length of skin-hole.

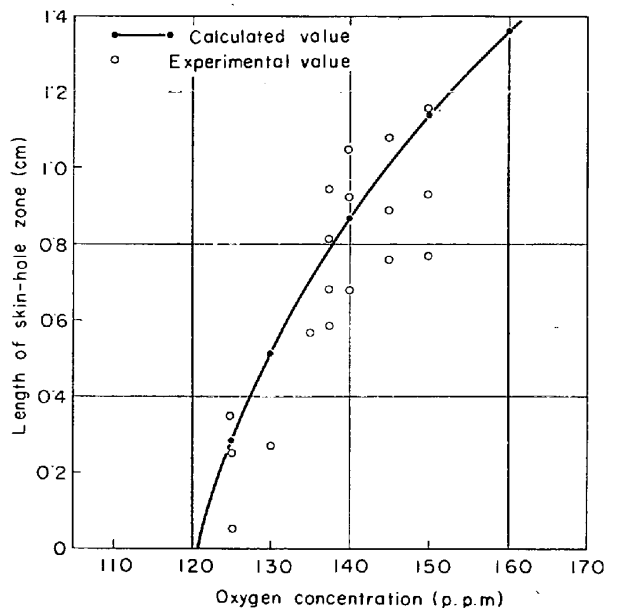


Fig. 4. Effect of oxygen concentration on length of skin-hole zone.

れる。

$$L = 7.4 \sqrt{\frac{ab(85[\text{O}]-1)}{v}} - 0.50 \dots\dots\dots(13)$$

表面気泡の長さを計算した場合と同様にして、この式をもとにして、表面気泡生成範囲におよぼす脱酸度、注入速度、および鑄型形状の影響が知れる。

ここでは、1例として脱酸度の影響のみを取り扱ってみる。計算条件を以下に示す

鑄型 No II: a=80cm, b=40cm

ノズル径 60 mm, 注入開始後 6 min: v=18000cc/sec

この a, b, v を(13)式に代入する。

$$L = 3.12\sqrt{85[\text{O}]-1} - 0.50 \dots\dots\dots(14)$$

この式に種々の酸素濃度を代入することにより、脱酸度と表面気泡生成範囲との関係が知れる。求めた結果を Fig. 4 に示す。計算値と実測値は良好な一致を示し、脱酸度が大きくなると、表面気泡生成範囲は小さくなる。

注入速度、鑄型形状の影響も同様にして求められるがここでは省略する。

6. 結 言

セミキルド鋼塊に発生する表面気泡の長さを凝固速度注入速度の関連のもとに定量的に解析した結果、以下のことが判明した。

- (1) 表面気泡の長さは脱酸度が大きくなるにつれて短くなるが、ある酸素濃度範囲のところで変曲域が存在する。
- (2) 注入速度は表面気泡長さにあまり影響をおよぼさない。
- (3) 鑄型断面積が大きくなると表面気泡の長さは長くなる。
- (4) 表面気泡の生成範囲と諸要因との関係も同様な手法で取り扱える。
- (5) 理論計算値と実測値とは良好な一致を示す。

文 献

- 1) C. E. SIMS: Electric Furnace Steelmaking, vol II. (1963)
- 2) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1874
- 3) 加藤: 鉄と鋼, 43 (1957), p. 1104

(152) 粒状気泡帯の生成機構について (セミキルド鋼塊の凝固組織に関する研究—VI)

富士製鉄, 広畑製鉄所

○渡辺省三・浅野鋼一・大橋徹郎

Mechanism of Formation of Honeycomb Blowhole Zone.

(Study on solidification structures of semi-killed steel ingot—VI)

Shozo WATANABE, Koichi ASANO and Tetsuro OHASHI.

1. 緒 言

前報までにセミキルド鋼の管状気泡表面気泡の生成機構ならびにそれらの形状、分布におよぼす諸要因の影響を取り扱ってきた。

本報では、ひきつづき粒状気泡帯の生成機構について考察したので以下にその結果を報告する。

2. 粒状気泡帯について

粒状気泡帯の代表的な外観写真を Photo. 1 示す。セミキルド鋼塊ではこのように、鋼塊頭部表面から収縮パイプ部までに大きな細長い気泡が数多く発生している。この領域を粒状気泡帯と呼ぶ。粒状気泡帯の形状いかんによつては、均熱炉あるいは加熱炉における加熱に際して鋼塊内部に酸化性ガスが浸透し、歩止りを著るしく低下させるので、この粒状気泡帯の調整はセミキルド鋼製造上きわめて重要な問題となる。

すでに述べたように¹⁾、セミキルド鋼塊は凝固に際して CO ガスを発生するとともに、溶鋼は凝固収縮を起こす。この凝固収縮部を CO ガスが補足しながら凝固が進行するので、写真に見るような粒状気泡帯が形成されるのである。発生する CO ガス量が少ない場合は凝固収縮部を十分補足することができず、大きな収縮パイプが発生し粒状気泡帯は薄くなる。逆に、CO ガス量が多くて凝固収縮部を十分補足し得るならば、収縮パイプは小さくなり粒状気泡帯は厚くなる。したがって、粒状気泡帯の形状は主として、CO ガス発生量および凝固収縮量により決定されるといえる。以下、これらの関係を定量的に考察した。

3. 凝固収縮量

いま、Fig. 1 に示すようなきわめて簡単な鋼塊モデルを考える。鋼塊の長辺長さを 2a cm, 短辺長さを 2b cm, 高さを c cm とし、注入後、時間 t だけ経過したときの残存溶鋼の形状を直方体と仮定し、その長辺を 2x cm, 短辺を 2y cm, 高さを z cm とした。

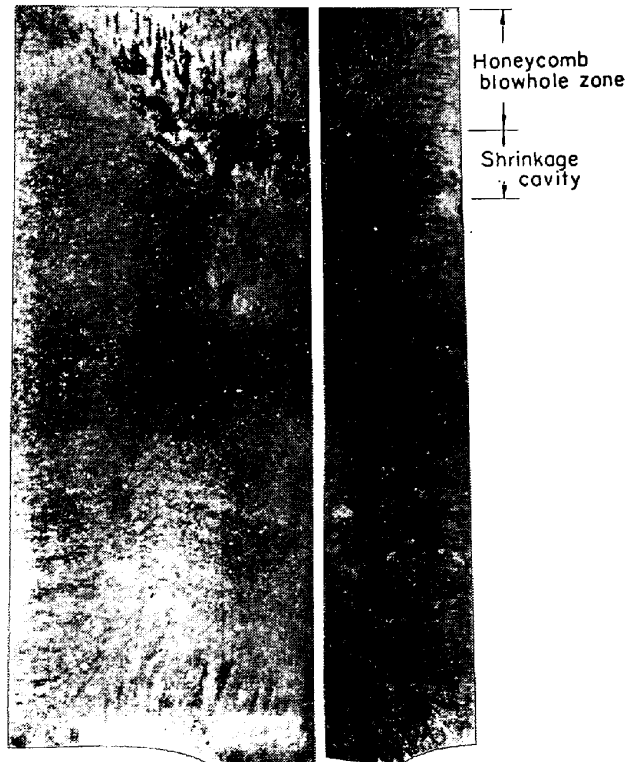


Photo. 1. Vertical section of typical semi-killed steel ingot.