

この式に $K=0.34$, $K'=0.28$, $K''=0.93$, $b=40$, $c=200$ を代入する。

$$(\partial Y/\partial a) = -0.017L^3 + 1.54L^2 - 33.6L + 62 \quad (10)$$

L の値を正とすると, $L \leq 30$ では $(\partial Y/\partial a)$ の値は負になる。他の条件一定のときに a の増加につれて Y が減少するという事は, (8) 式から判断して a が増加すると L が減少することになる。すなわち, 鋼塊長辺長さが増すと粒状気泡帯長さは短くなる。

同様に Y の c に関する偏微係数は次式になる。

$$(\partial Y/\partial c) = 0.10L^2 - 12.7L \quad (11)$$

$(\partial Y/\partial c)$ は $0 \leq L \leq 127$ の範囲において負になり鋼塊高さが増すと粒状気泡帯長さは短くなる。

これらの結果は Table 5 の結果とも良く一致している。

5. 結 言

セミキルド鋼塊の粒状気泡帯長さを, CO ガス発生量および凝固収縮量をもとにして定量的に取り扱った結果以下のことが判明した。

(1) 脱酸度が大きくなるにつれて, 粒状気泡帯の長さはほぼ直線的に減少する。

(2) 鑄型長辺長さが大きくなるにつれ, また鋼塊高さが大きくなるにつれ, 粒状気泡帯長さは短くなる。

文 献

- 1) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1530
- 2) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1874
- 3) 千原, 国岡: 日本鋼管技報, (1961) 22, p. 247

(125) セミキルド鋼塊の頭部膨脹について

(セミキルド鋼塊の凝固組織に関する研究—VIII)
富士製鉄, 広畑製鉄所

○渡辺省三・浅野鋼一・大橋徹郎

On Expansion of Top Surface of Semi-killed Steel Ingot

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

Shozo WATANABE, Kōichi ASANO and Tetsuro OHASHI

1. 結 言

過脱酸でないセミキルド鋼においては, 注入終了後ほぼ 5 min 以内に鋼塊頭部表面の膨脹が起る。この膨脹量は鋼塊の脱酸度と密接に関係しており¹⁾²⁾, 現場作業では, この膨脹量を目安として注入時の脱酸調整を行なっている。

そこで, この頭部膨脹機構を解明し, 膨脹量と脱酸度の関係, さらには鑄型形状との関係を定量的に解析した。

2. 実験方法および結果

塩基性 200 t 平炉で溶製されたセミキルド鋼の脱酸度を色々変え, これを各種形状の鑄型に注入し, その頭部膨脹量を測定した。ただし膨脹量としては膨脹高さを

Table 1. Relation between degree of deoxidation and expansion height of ingot top. (Mold : No. I)

Ladle	Degree of deoxidation		Expansion height (mm)
	Al added in mold (g/t)	Oxygen concentration (ppm)	
0.04	18 36	150 135	30, 50 10
0.05	18 36	143 132	20, 20, 30, 30 10
0.06	18 36	138 127	20, 20, 30, 30, 30, 40 0, 0, 10, 10, 10, 20
0.07	24 36	122 115	-5, 0, 10 10, -5, 0

Table 2. Relation between mold shape and expansion height of ingot top. (Ladle Si : 0.06%)

No.	Mold shape			Expansion height (mm)
	Width 2a (cm)	Thickness 2b (cm)	Height c (cm)	
I	176	86	200	40, 40, 50
II	160	80	200	10, 20, 20, 30, 30, 40, 40
III	160	52	180	10, 20
IV	86	72	180	10, 20, 30, 30
V	150	70	190	10, 10, 20, 20, 20, 30

用いた。

測定結果を Table 1, Table 2 に示す。

鋼塊頭部表面には小さな凹凸が多く, またスカムなどの付着物もあるため測定誤差がかなり大きいと考えられる。

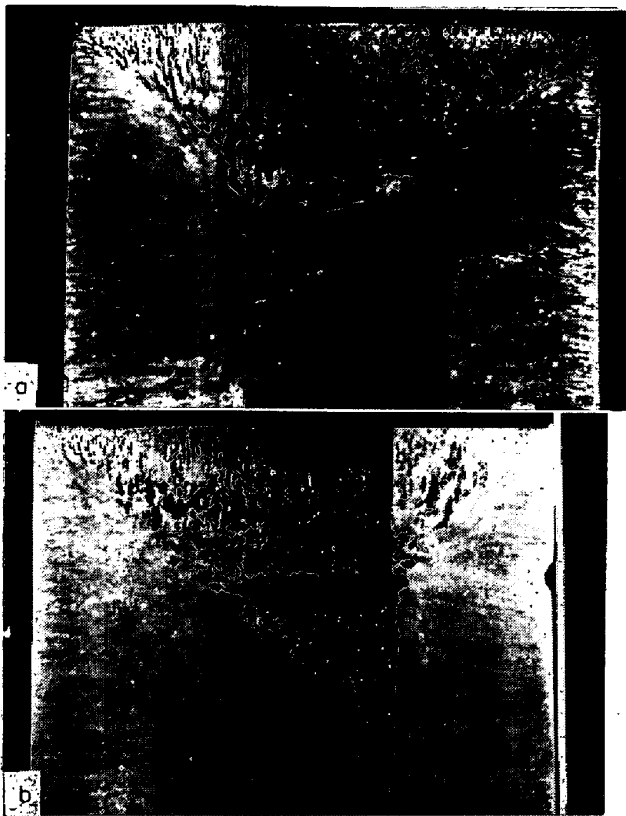
また, 同一チャージの溶鋼を, 鑄型に注入時, Al 投入量を 2 段階に変えた場合の鋼塊内部状況並びに頭部膨脹量を Photo. 1 に示す。鋼塊 A は Al 投入量, B は Al 投入量 40 g/t である。なお取鋼 Si は 0.05%, 鑄型は No. II である。脱酸度により頭部膨脹高さが変わることがわかる。

3. 鋼塊頭部膨脹高さ

すでに述べたように, セミキルド鋼は一般に凝固時 CO ガスを発生する。この CO ガスは鋼塊内部に表面気泡, 管状気泡, 粒状気泡帯を形成し, さらには収縮パイプ部を補足して健全な鋼塊を作る。

P_{CO} なる平衡圧を有する CO ガスが凝固収縮量と等量もしくは, それ以下の量だけしか発生しないときは CO ガスは凝固末期まで発生しつづけ, しかも頭部膨脹はほとんど起らない。極端に CO ガス発生量が少ないときは逆に鋼塊頭部が凹になることもあり得る。

しかし, 一般の場合, 前に述べたように, 凝固初期では CO ガス発生量の方が凝固収縮量を上回っており, 鋼



a) Al added in mold : 0
b) Al added in mold : 40g/t

Photo. 1. Shape of ingot top. $\times 13$ (7/10)
(Ladle Si : 0.05%, Mold No. II)

塊頭部の空隙部には P_{CO} なる圧を有する CO ガスが充填していると考えられる。このため、凝固初期の鋼塊頭部の凝固厚みが薄いときは、この P_{CO} なる圧のために鋼塊頭部は膨張を起す。これは丁度、材料力学の分野で取り扱う、周囲固定の平板に均一応力が作用した場合に類似しているため、以下にその場合のたわみ計算式を示す。

周辺固定の矩形板を考える。最大応力は、長辺中央の点に生じ、最大たわみは板中央に生じる。

この時の最大たわみ量 δ_{max} は次式で与えられている³⁾。

$$\delta_{max} = 16\beta \frac{P \cdot b^4}{E \cdot t^3} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 β : 両辺の比 a/b で決まる定数、 $2b$: 平板短辺長さ、 E : 縦弾性係数、 P : 単位面積当りの荷重 (kg/cm^2)、 t : 板厚 (cm)。

β は a/b の値により決まるもので、それを Table 3 に示す。(1) 式に板厚 t 、応力 P 、および弾性係数を与えると、たわみ量 δ_{max} は求まるわけであるが、実際のセミキルド鋼塊の頭部膨張高さを求めるには問題は複雑

Table 3. Relation between a/b and β .
(Poisson's ratio : 0.30)

a/b	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	∞
β	0.0138	0.0199	0.0240	0.0264	0.0277	0.0284

となり、種々の仮定を設けなければならない。

(1) 式から判断すると、応力 P が一定の場合、板厚 t が薄ければ薄いほど、 δ_{max} は大となる。いいかえれば、凝固初期のごとく薄い凝固膜のときに最も、たわみ量が大きくなるはずである。しかし実際の場合そうはならず、鋼塊頭部が凝固した後、ごくゆるやかに膨張が起る。これは CO ガス圧の増加と、凝固厚みの増加が連続的に起るためである。これをより詳しく論じるためには鋼塊頭部の初期凝固状況を知る必要があるが、それはきわめて困難であるので、ここでは、とり扱いを簡単にするために、以下の諸仮定を設けた。

- (1) 凝固初期から均一応力 P が作用している。
- (2) 最大たわみを与える場合の凝固厚みとしては、ある平均的な凝固厚み D を用い、この値は全ての場合について一定と考える。

(3) 温度が時間とともに変化するので、鋼の弾性係数 E も変化するが、これを平均温度での弾性係数を用いることとする。

以上のおおのこの仮定について若平考察する。

3.1 平均応力 P

平均応力 P としては、鋼塊内部の CO ガス圧 P_{CO} と大気圧との差を用いる。 P_{CO} は次式で与えられる。

$$P_{CO} = [C][O]/K_{CO} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、平衡恒数 K_{CO} としては $2.0 \times 10^{-3} \left(\frac{\%}{atm} \right)$

を用いる。

3.2 平均凝固厚み D

凝固初期からの鋼塊頭部膨張を観察するに、注入終了後約 5 min 程度で膨張量が最大になるのが普通である。これは鋼塊頭部が凝固しはじめてから約 3.5 min 程度に相当する。もし、凝固が進行しないなら、凝固厚みのきわめて薄い時期に、時間にほぼ比例して膨張が起ると考えられるが、このような膨張の進行時に次第に凝固厚みが増加するために、逆に大きな抵抗が働き、膨張速度は低下する。したがって、ここでは平均凝固厚みとして、3.5/2 min、すなわち 1.7 min 経過後の凝固厚みを採用する。これは約 1.8 cm に相当する。

(1) 式に (2) 式を代入し、さらに $t=1.8$ とすると

$$\delta_{max} = 16\beta \cdot b^4 \frac{([C][O]/k-1)}{5 \cdot 8 E} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

3.3 弾性係数 E

種々の条件の場合についての δ_{max} の測定値から E を計算してみると Table 4 のようになる。 E の平均値としては 14500 となるがこの E の値は 30% 程度の大きなばらつきをもっているが、用いた仮定の内容から考えて、この程度のばらつきは当然と考える。そこで弾性係数としては一応この 14500 を用いることにした。

なお、頭部膨張現象を鋼の弾性限界内の問題として取り扱ったが、むしろ現象的に考えてみて、塑性変形の領域であると考えた方が妥当である。

したがって塑性変形量を求めるべきであるが、この場合にも変形抵抗なる未知の定数が必要となり、計算困難となる。しかし一般に塑性変形領域の問題を弾性領域に拡大して見かけの弾性係数を用いて計算を進める手法は

Table 4. E values under various conditions.

Mold		Degree of deoxidation		P (atm)	δ_{max} mean (mm)	β	E
No.	Thickness to width ratio	Ladle [Si]%	Al added in mold (g/t)				
II	2.0	0.04	0	0.29	45	0.0277	13000
		0.06	0	0.17	20	0.0277	16000
III	3.3	0.05	20	0.24	8	0.0300	12400
IV	1.2	0.06	40	0.10	5	0.0199	15200
I	2.1	0.05	15	0.16	30	0.0277	14000

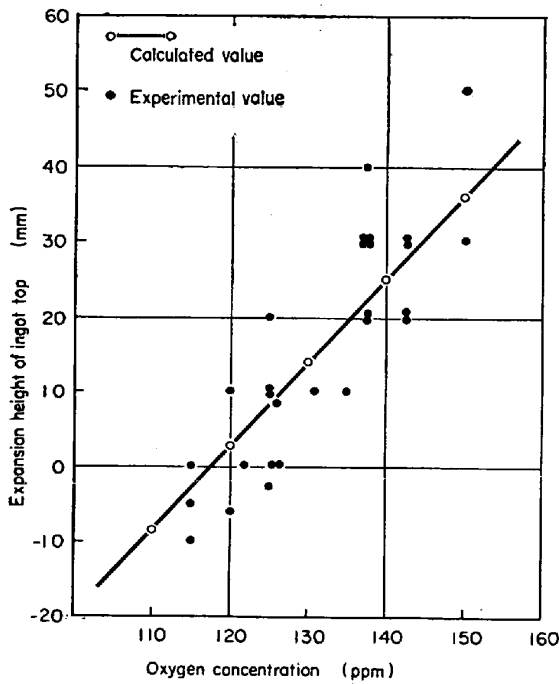


Fig. 1. Relation between oxygen concentration and expansion height of ingot top.

よく用いられており、今回の計算もこのような取り扱いを行なっているため、求めた弾性係数 E は見かけの値となり、当然真の値よりも相当へだたっているものと推定される。

4. 諸要因の影響

4.1 脱酸度の影響

No. II 鑄型について脱酸度の影響を調べる。

$$b=40\text{cm}, \beta=0.0277, k=2.0 \times 10^{-3} \left(\frac{\%}{\text{atm}} \right),$$

[C]=0.17%, $E=14500$ を (3) 式に代入する。

$$\delta_{max}=13.5(85[\text{O}]-1) \dots \dots \dots (4)$$

これによれば、鋼塊頭部膨張高さは酸素濃度に関して直接的に変化することがわかる。これを図示すると Fig.1 のようになり、実測値の傾向とよく一致することがわかる。ただし、実測値には $\pm 1.5\text{cm}$ 程度のばらつきがあるが、前述の各種仮定の内容からいつて、現段階ではさげられないものである。

さらに、この結果をもとにして取鍋 [Si]%, 鑄型 Al 投入量に関する等膨張線図描くことができる。No. II 鑄型での結果を Fig.2 に示す。

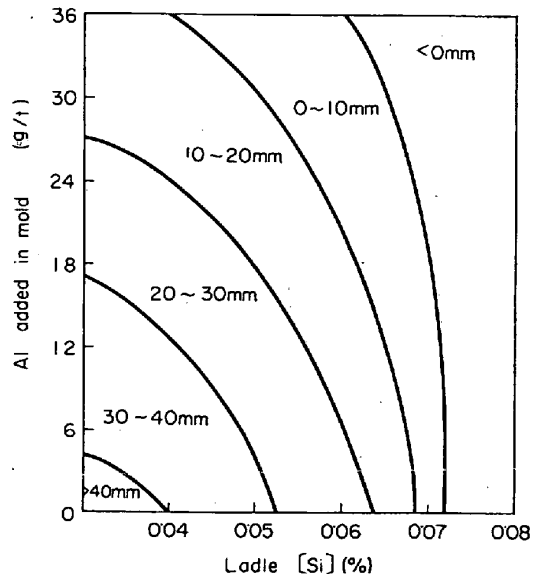


Fig. 2. Diagram of constant expansion height of ingot top under various deoxidation.

4.2 鑄型形状の影響

脱酸度一定の場合について、鑄型形状の影響を取り扱う。

(3) 式からわかるように鑄型形状に関しては扁平比により変る係数 β と短辺厚み b が変数となるため、この両者について考える必要がある。

取鍋 [Si] 0.06%, 鑄型 Al 0~100g の場合について計算を行なう。(3) 式に [O]=140 ppm. を代入する。

$$\delta_{max}=1.9 \times 10^{-4} \beta \left(\frac{0.17 \times 0.014}{2.0 \times 10^{-3}} - 1 \right) \times b^4 = 0.4 \times 10^{-4} \beta b^4 \dots \dots \dots (5)$$

この式をもとにして、扁平比、短辺厚みに関する等膨張高さ曲線を描くと、Fig.3 のようになる。これによると、扁平比が大きくなり、短辺厚みが大きくなるにつれて膨張量が大きくなることがわかる。ただし、扁平比の影響は比較的小さく、扁平比 1.5 以上では、膨張高さにはほとんど影響をおよぼさないことがわかる。

Table 2 の測定結果をも併示したが、計算より求めた値と実測値とはその傾向はかなり一致しているものの実測値の範囲は大きく広がっており必ずしも厳密な傾向は見出せない。大ざっぱには、鑄型 No. I, No. II, No. V, No. IV, No. III の順で膨張高さが小さくなる

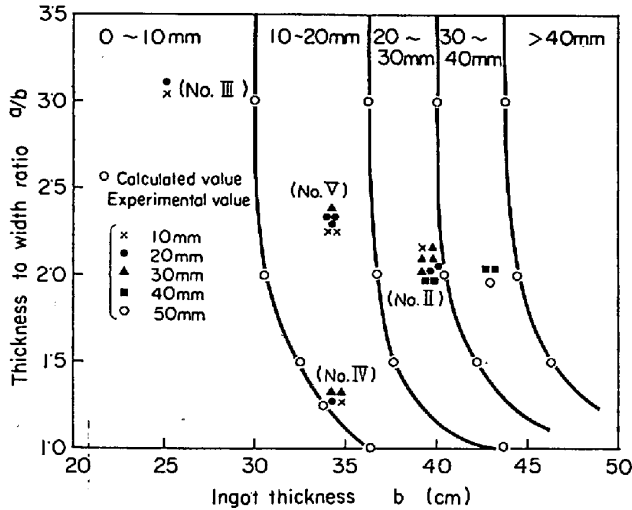


Fig. 3. Diagram of constant expansion height of ingot top at various ingots.

ていく。

この結果より、同一脱酸度であつても頭部膨張高さが相当異なることがわかる。例えば、取鍋 [Si] 0.06% の場合であつても、No. I 鑄型では 30~40 mm, No. II 鑄型では 0~10 mm となつている。

5. 結 言

セミキルド鋼塊の鋼塊頭部膨張高さを CO ガス発生圧ならびに平板のたわみ式を用いて定量的に解析した結果、理論計算値と実測値とはほぼ良好な一致を示した。そして以下のことが判明した。

- 1) 脱酸度が大きくなるにつれて、頭部膨張高さは直線的に減少する。
- 2) 鋼塊短辺厚みが小になり、扁平比が小になるほど、頭部膨張高さは小さくなる。しかし、扁平比の影響は小さい。

文 献

- 1) 窪田, 渡辺: 鉄と鋼, 45 (1956), p. 265
- 2) 藤井, 波木, 荒木: 住友金属, 16 (1964), p. 9
- 3) 機械工学便覧, (1951)

(126) 熱処理中における固体鉄への酸素の溶解について

(鉄鋼中の非金属介在物の抽出分離に関する研究—Ⅲ)

日本鋼管, 技術研究所

工博 井樋田睦・石井照明・土田正治

金属材料技術研究所 工博 郡 司 好 喜

On the Solution of Oxygen into Solid Iron during Heat-Treatment

(Study on isolation of inclusion in iron and steel —Ⅱ)

Dr. Mutsumi IHIDA, Teruaki ISHII

Shōji TSUCHIDA and Dr. Kōki GUNJI

1. 結 言

リムド鋼の酸素分析において、ヨウ素アルコール法による介在物の分析値から求めた酸素値は真空溶融法の酸素値に比較的合う場合もあるが、焼鈍した冷延鋼板では極端に介在物の酸素値が低い場合がある。

この原因は、冷延鋼板の介在物が焼鈍中組成が変化して、抽出分離中溶解損失する可能性もあるが、一方酸素が地鉄に固溶して、真空溶融法では定量されるが、介在物分析では定量されないという可能性も考えられる。

そこで今回は、主として熱処理中における固体鉄中の酸素溶解度について、まず比較的の不純物が少なく素性の明らかな純鉄（電解鉄を真空溶解した試料）を用いて調査したのでその結果を報告する。

2. 従来法の問題点と著者らの研究方法

固体鉄中の酸素溶解度については相当古くから研究されているが、かなり固溶するという説^{1)~4)}とほとんど固溶しないという説⁵⁾⁶⁾があつてまだ明確でない。

従来、固体鉄の酸素溶解度を調査する方法としては、2つの方法がみられる。

a. 最初雰囲気から酸素を供給し、試料表面に酸化鉄を形成させ、それを内部へ拡散させたのち真空溶融法で全酸素を定量する⁴⁾。

b. 一定の酸素分圧を有する H₂-H₂O または CO-CO₂ ガスを用いて試料表面に酸化鉄を生じない程度に酸素を供給し、水素還元法によつて固溶酸素のみを定量する⁷⁾。

a 法は比較的簡単な方法であるが、試料中に酸素と親和力の強い不純物が存在すると酸化物を形成し、また酸化鉄の層が粒界に沿つて内部へ進行するのでその除去がむづかしい。したがつて高い値を与える可能性がある。

b 法はガスの平衡濃度の選定に問題があり、また a 法と同様に不純物の影響をうける。

著者らは前報⁸⁾で鉄鋼中の酸化鉄の抽出分離法を検討し、抽出条件に注意すれば、ヨウ素アルコール法で Al, Si の酸化物はもちろん、酸化鉄も完全に抽出定量できることを明らかにした。そこで著者らは、酸化鉄と平衡している固体鉄中の固溶酸素を求めるに当たつて、あらかじめ酸素を多量に含んでおける溶鉄を凝固させて固体鉄中に酸化鉄を生成させ、これを酸素源として一定温度に保持して酸素を固溶させ、真空溶融法で全酸素を求め、一方ヨウ素アルコール法で酸化物を求めてこれに相