

第 5 会場 (真空溶解・製鋼基礎・非金属介在物)

669.14-412:669.187.046,517-982; 620.192.3

(103) 高炭素鋼におけるブローホールの発生機構とその防止法

(鋼のコンセルアーク溶解に関する研究—Ⅳ)
 神戸製鋼所, 中央研究所 No. 64265
 菅野五郎・理博 草道英武・○福原義浩

The Mechanism of Blow Hole Generation at High Carbon Steels and the Preventive Method against Blow Holes.

(Studies on the Cons-el arc melting of steels —Ⅳ)

Goro SUGANO, Dr. Hidetake KUSAMICHI, and Yoshihiro FUKUHARA.

I. 緒 言

コンセルアーク溶解法には周知のごとく, 強い脱ガス効果, 耐火物による汚染のないこと, 非金属介在物の減少, layer by layer な凝固により偏析のないことなどのすぐれた特徴があるが, 一方では鋼種によつて普通溶解法にはみられない欠陥が発生することもある。たとえば高炭素鋼に発生するブローホールである。本研究では主として脱酸剤とブローホールの発生との関係を理論的に検討し, 合わせてコンセルアーク溶解条件とブローホールの発生との関係も考察し, ブローホールの防止法を明らかにした。

II. 実験方法

鋼種としては JIS-SKD 11 をとりあげ, これを 100 kVA 高周波溶解炉で約 100kg 溶解し, 出鋼の際 Si, Al, CaSi などの脱酸剤を所要量投入して脱酸し, 内径 130mm φ の鋼管に铸込んだ。表面を軽く旋削したものを 2 本溶接して電極材とした。コンセルアーク溶解は内径 200mm φ のるつぼを用いて, 炉体上部の圧力を溶解中 1~2μHg に保ち, 電圧は 25~27V, 電流は Table 1 のごとく 2.5kA, 3.5kA および 4.5kA で行なつた。溶製された铸塊はなるべく内部のブローホールを調べるために, 片肉 15mm 皮削りしてブローホールの大きさと数を記録した。

III. 結 果

ブローホールの直径を <5mm と >5mm に分けて, その数を铸塊の上中下に分けて測定し, その結果を Table 1 に示した。さらに溶解前後の化学成分およびガス成分の変化を Fig. 1 に示す。

IV. 考 察

コンセルアーク溶解におけるブローホールの発生は C をほとんど含まない鋼種では従来問題となつておらず, 高炭素の場合にその発生がいちじるしいことから, ほぼ CO ガスによるものと考えられる。液相中に気泡が発生する場合, 気泡中のガスは (1) 式で表わされる圧力を必要とする。

$$p = p_a + \rho h + 2\sigma/r \quad (1)$$

p_a : 外 圧

ρ : 溶湯の密度

Table 1. Size and number of blow holes.

Deoxidation		Melting current		
		2.5kA	3.5kA	4.5kA
No deoxidation	T	—	<5mm×2	—
	M	—	>5mm×2	—
	B	—	>5mm×2	—
Al 50 g/t	T	—	0	—
	M	—	<5mm×1	—
	B	—	<5mm×1	—
Al 150 g/t	T	0	0	0
	M	0	0	0
	B	0	0	0
Si 50 g/t	T	0	>5mm×1	0
	M	<5mm×2, >5mm×2	0	<5mm×1 >5mm×2
	B	>5mm×3	0	0
Si 150 g/t	T	—	<5mm×2, >5mm×5	—
	M	—	<5mm×1, >5mm×2	—
	B	—	0	—
CaSi 50 g/t	T	>5mm×1	0	0
	M	0	0	0
	B	0	0	0
CaSi 150 g/t	T	—	0	—
	M	—	0	—
	B	—	0	—

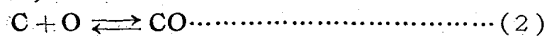
h : 気泡の溶湯面からの深さ

σ : 気泡の界面張力

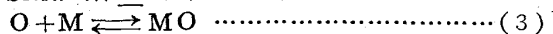
r : 気泡の半径

溶鋼と平衡する CO の圧力 p_{co} が (1) 式の p よりも大きければ気泡が発生するのであるが, 気泡核の曲率半径がわからないので, 正確な p の値の評価ができない。しかし気泡核は凹凸の多い凝固面上に発生するため $2\sigma/r$ の項は無視できるので, それによつて p の値の評価を行なつてみる。まず p_a は約 5mmHg と推定される¹⁾。 h は 200mm φ のるつぼでは溶湯の深さはほぼ 200mm あるので, 0 から 200mm の間である。 ρ を 7.13 g/cm^3 とすると $p = 5 \sim 110 \text{ mmHg}$ となる。

溶湯中における CO 反応は次式にしたがつて起るわけであるが,



O は溶湯が脱酸されておれば, 溶湯中では次式にしたがつて脱酸元素 M と平衡している。



したがつて CO 反応を抑制して p_{co} の値を下げるには, 電極材を強力な脱酸剤で脱酸しておくことが一つの方法である。そこで種々の脱酸元素を使用した場合の脱

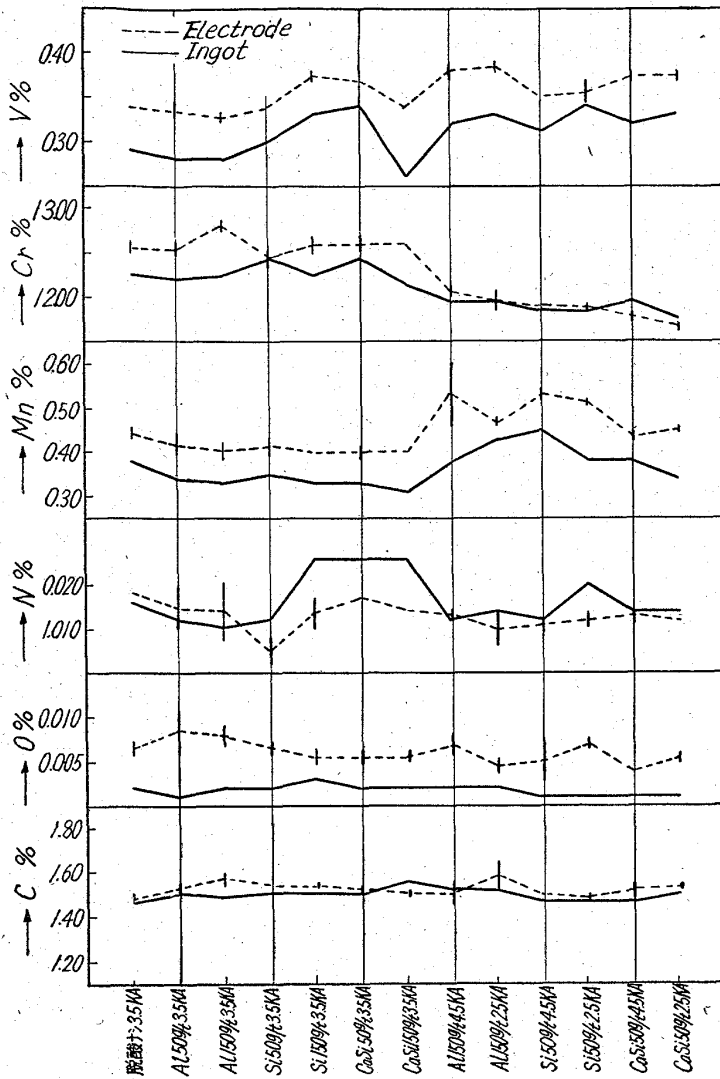


Fig. 1. Chemical composition of electrodes and ingots.

酸反応の $4F^{(2)}$ から $RT \ln [\%O]$ と温度との関係を示したものが Fig. 2 である。Fig. 2 からは反応の可能性はわかるが、 p_{CO} の値自体は直接わからない。そこで溶鋼中の C の活量および脱酸素元素の濃度を仮定して、C および脱酸素生成物と平衡する p_{CO} を求めたものが、

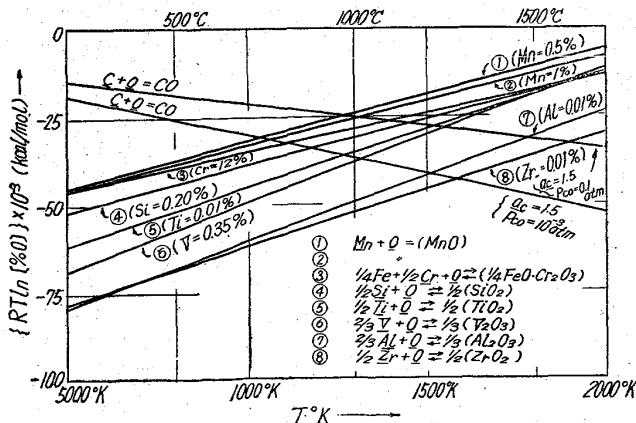


Fig. 2. Oxygen potential of various oxide v. s. temperature.

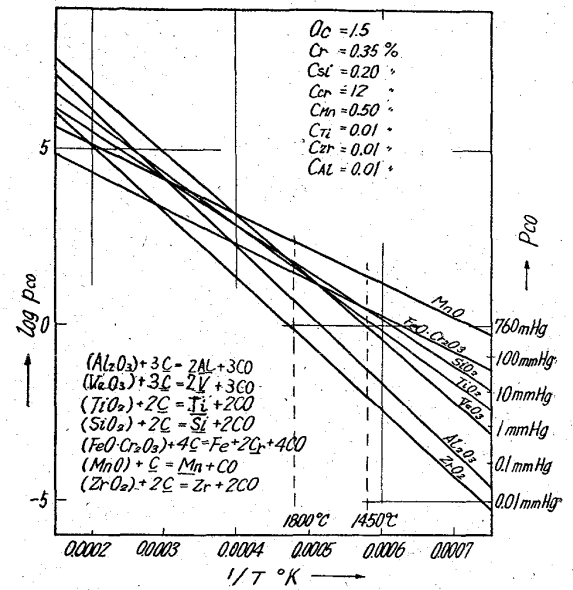


Fig. 3. CO pressure V. S. converse of temperature.

Fig. 3 である。 p_{CO} は (2) 式と (3) 式から O を消去して (4) 式を導いて算出した。



Fig. 2 および Fig. 3 の計算に用いた溶鋼中の C の活量は Cr の効果だけを考慮して、Richardson ら³⁾ のデータより推定した。溶鋼中の C の活量は C 濃度とともに増加するが、Cr が約 11% 存在するとその効果は相殺されて、活量係数はほぼ 1 となる。

溶鋼中に気泡が発生するに必要なガスの圧力は 5~110 mmHg であると推定したが、気泡核は凝固面上から発生するので凝固温度における p_{CO} が問題となり Fig. 3 から Mn, Si, Ti, V, Cr などで脱酸すると、 p_{CO} は鋼の凝固温度においては 5~110 mmHg よりもはるかに高く、ブローホールの発生する可能性のあることがわかる。一方 Al または Zr で脱酸すれば p_{CO} の値はちょうど 5~110mmHg の範囲にあつてクリティカルな状態である。Ca については現在溶鋼中における脱酸反応の平衡についての信頼できるデータは得られないが、固相-気相の不均衡中の平衡についてのデータ⁴⁾ によると CaO は ZrO_2 よりも安定なので、Fig. 3 における Ca の直線はほぼ Al と Zr の近くにくるものと考えられる。したがって電極材を Ca で脱酸した場合も Al, Zr の場合と同様に考えればよい。

以上の論法によるとブローホールの発生は溶湯面上の圧力が高いほど、(1) 式における p_a が大となつて起りにくいことになる。たしかに Ar 1 atm の下ではブローホールの発生はないが、炉体での圧力が 50~100mmHg のごとく低真空になるとかえつて発生がいちじるしくなり、さらに 1~2 μ Hg くらいの高真空になると発生しなくなる。このように低真空の場合にブローホールの発生がかえつていちじるしくなるのは、真空によるカーボン脱酸も無視できないことを意味しているようである。す

なわち p_{CO} は脱酸によつて低下すると同時に、カーボン脱酸によつてさらに低下し、5~110 mmHg のクリティカルな圧力以下になるのではないだろうか。

以上で SKD 11 のコンセルアーク溶解において、電極材を脱酸しない場合と Si で脱酸した場合 (一つの例外を除いて) にはブローホールがいちじるしかったこと Al または Ca で脱酸した場合にはほとんど、または全くブローホールが発生しなかつたことを脱酸剤による脱酸とカーボン脱酸から説明した。

しかし例外として Si 50 g/t で脱酸した電極を 3.5 kA で溶解した場合、ブローホールが全くみとめられなかつた。この現象はすでに述べた CO 反応では全く説明がつかない。このときの電極材のガス含有量をみると、N が 0.006% と 0.009% であつて、他の電極材に比較してかなり少ない。ブローホールの原因を N_2 ガスに結びつけるには従来の経験から無理があるが、CO 反応によるブローホールの発生を助長する作用があるとすれば無視できない。そこで O との親和力が Si とあまり変わらず、N との親和力が極めて強い Ti を Si とともに脱酸剤として用いた場合と、O との親和力が Al よりも強く、かつ N との親和力が Ti と同程度に強い Zr を脱酸剤とした場合について追試験を行なつた。

脱酸剤の量は (360 g/t Ti + 50 g/t Si) ならびに 780 g/t Zr である。Ti の添加量 360 g/t は 0.01% の N の当量であり、Zr の添加量 780 g/t は 0.01% の N と当量、すなわち 650 g/t に Al 50 g/t に当量な 130 g/t を加算した量である。コンセルアーク溶解は 3.5 kA で実施したが、両铸塊ともにブローホールは全く認められなかつた。

結論としてブローホールの発生防止法としては O および N との親和力の強い Al 単独、または O との親和力の強い Ca に N との親和力の強い Ti, Zr, Al などを併用して電極材を脱酸し、十分な排気容量をもつたコンセルアーク炉で、カーボン脱酸を十分行なわせて溶解すればよい。しかしなおブローホールの発生原因については溶解中の放出ガスを分析するなど、今後の研究にまたねばならない点が多い。

V. 結 言

SKD 11 のコンセルアーク溶解時に発生するブローホールの原因を熱力学的に検討し、あわせてその防止方法についても明らかにした。

文 献

- 1) S. J. NOESSEN: J. Metals, 11 (1960), p. 842
- 2) Basic Open Hearth Steel Making, 1951, AIME, p. 672
- 3) F. D. RICHARDSON and W. E. DENNIS: J. Iron & Steel Inst (U. K.), 175 (1953) 3, p. 257
- 4) M. OLLEUE et M. F. ANCEY-MORET: Revue de Metallurgie, 6 (1963), p. 569

(104) 減圧下における溶融鉄合金の蒸発速度および坩堝材との反応

(真空溶解の基礎的研究—II)

金属材料技術研究所 No. 64266

工博 郡司好喜・片瀬嘉郎・青木愿樹

Evaporating Rate of Molten Iron Alloys, Reactions between Those and Crucible Material under Reduced Pressure.

(Fundamental study on the vacuum melting — I)

pp/809~1812

Dr. Kōki GUNJI, Yoshirō KATASE and Yoshiki AOKI.

I. 緒 言

真空溶解によつて精錬される鋼は、精錬法の特質から多種類の元素を比較的少量に含んだ高合金鋼である場合が多い。一方真空溶解の基礎反応についての研究は従来数多く行なわれているが、高合金鋼のそれに関する研究はあまり取上げられておらないようである。本研究は坩堝を用いる真空誘導溶解炉における溶融鉄合金の諸性質を明らかにする目的で、溶融 Fe-Ni, Fe-W, Fe-Mo および Fe-Cr 合金の蒸発速度ならびにマグネシア坩堝、アルミナ坩堝との相互反応について 2, 3 の実験を行なつたものである。

II. 溶解試料および坩堝

本研究に使用した溶解試料は、前報と同一の純鉄および市販の電解クロム (Cr > 99.9%), コバルト (Co > 99.3%), 電解ニッケル (Ni > 99.9%), 粉末タンゲステン (W > 99.9%), 粉末モリブデン (Mo > 99.95%) を用いた。

実験に使用した坩堝は、アルミナ系 2 種類 (SSA-S および CP) とマグネシア系 1 種類 (M.G) であるが、その組成および表面状態はそれぞれの種類ごとに大体一定している。これら坩堝の寸法、主な化学組成および気孔率は前報と同一である。

III. 実験装置および実験方法

本研究に用いた実験装置は前報と同一の 1 kg 溶解用外熱式真空誘導炉で、真空管式高周波共振機の能力は、100kC, 15kW で、排気系は 800 l/min の油回転ポンプと 800 l/sec の油拡散ポンプから構成されている。

前記の合金元素と純鉄、約 600 g を水素気流中で溶解し 0.005~0.2% O まで脱酸する。後炉内を排気し、所定温度所定圧力に保持し、溶解中希望する時間に試料を採取した。試料採取は先端を封じ、その上 20~30 mm 上方に孔をあけた 5~7 mm φ の石英管を溶融鉄合金に浸漬し、試料を汲上げる方法を用いた。合金元素の添加割合は、Fe-Cr, Fe-Co, および Fe-Ni については約 20%, Fe-W および Fe-Mo については約 10% であつた。溶解温度は 1600°C で温度測定には光高温計を用いた。真空度測定にはフィリップスゲージを用い、CP および M.G 坩堝については 10^{-3} mmHg, SSA-S 坩堝については 10^{-4} mmHg で行なつた。

III. 実験結果および考察

(1) 溶融鉄合金の蒸発速度