

© 1986 ISIJ

# 高クロム溶鋼の脱炭挙動に対する鋼浴攪拌強さ 及び酸素供給速度の影響

論文

北村 信也\*・大河平和男\*<sup>2</sup>・田中 新\*

## Influence of Bath Stirring Intensity and Top Blown Oxygen Supply Rate on the Decarburization of High Chromium Molten Iron

Shin-ya KITAMURA, Kazuo OKOHIRA and Arata TANAKA

### Synopsis :

A basic study was conducted on the decarburization of high chromium molten iron under top-and-bottom combined blowing condition using a small high-frequency induction furnace.

(1) Decarburization is divided into stage I (high carbon region) and stage II (low carbon region). The critical carbon concentration at transfer from stage I to stage II decreases when the oxygen supply rate is restrained or when the bath stirring intensity is increased.

(2) At stage I, when the oxygen supply rate is decreased, although the decarburization rate decreases, the Cr loss also decreases. When the bath stirring intensity is increased, the Cr loss decreases, and the decarburization rate increases. The Cr loss is determined by the balance of bath stirring intensity and oxygen supply rate from top lance.

(3) At stage II, the decarburization rate and the Cr loss are also determined in relation to the oxygen supply rate and the bath stirring intensity, but since the rate of decarburization is controlled by carbon transfer rate in the bath to the reaction zone, the Cr loss increases with the progress of decarburization.

(4) The total oxygen content in the bath during blowing becomes gradually larger than the dissolved oxygen content as [%C] decreases, and suspended oxides of composition similar to  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  appear in the bath correspondingly.

(5) Coarse oxide particles exist on the bath surface in the low carbon period and fine oxide particles of the  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  composition are observed to be dispersed into the bath from the coarse particle as the starting point.

## 1. 結 言

溶銑を使用したフェライト系ステンレス鋼の溶製プロセスは、溶銑脱りん・脱硫技術との組合せにより、大幅なコストダウンが可能となつた<sup>1)</sup>。また、転炉での脱炭中の Cr の酸化ロスも、粗脱炭工程への上底吹き複合吹錬転炉の適用により、かなり減少できるようになりつつある<sup>2)~4)</sup>。しかし、Cr の酸化を最小限に抑制しつつ、高速で脱炭をおこなうための、最適な操業条件については、必ずしも明確とはなっていないのが現状である。

この高クロム溶鋼の脱炭に関する研究は、AOD のように、浴内の羽口から Ar と  $\text{O}_2$  の混合ガスを吹き込む場合<sup>5)~8)</sup>や、VOD のように、真空下で上吹ランスより  $\text{O}_2$  を吹き付ける場合<sup>9)~11)</sup>についての報告は多いが、上底吹き複合吹錬という条件下で詳細な脱炭機構を検討している報告は少ない<sup>12)</sup>。

そこで、小型の高周波炉を用いて、高クロム溶鋼の脱

炭挙動に対する、鋼浴攪拌強さと上吹き酸素供給速度の影響について、基礎的な検討をおこなつたので報告する。

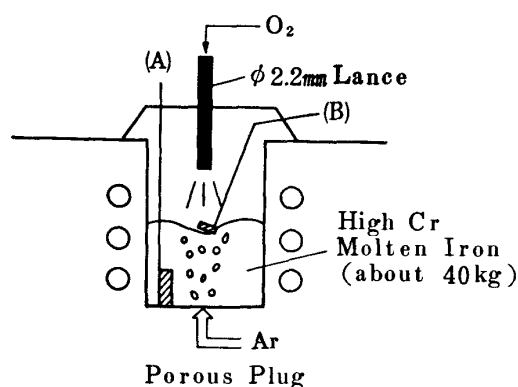
## 2. 実験方法

Fig. 1 に実験装置の略図を示すが、小型の高周波炉で約 40 kg の溶銑を溶解し、ここに、内径 2.2 mm の水冷上吹きランスから  $\text{O}_2$  ガスを吹き付けて脱炭するとともに、炉底のポーラスプラグより Ar を吹き込み、鋼浴の攪拌を、おこなつた。Table 1 に実験条件範囲を示す。実験は、吹錬前の溶銑成分を調節し、高炭素領域 ([%C]=4~約 0.3) と、低炭素領域 ([%C]=1.5~約 0.1) とに分けておこなつた。それぞれの実験前溶銑成分を Table 2 に示す。また、吹錬開始から約 2 min 間にわたつて、高炭素領域の実験では CaO を約 25 kg/t、低炭素領域の実験では、Table 3 に示す合成スラグを約 75 kg/t 投入した。この合成スラグの組成と量は、高炭素領域から脱炭した場合における、[C]=約 1.5% の時

昭和 59 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 2 月 12 日受付 (Received Feb. 12, 1985)

\* 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 (Yawata R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 Dr.-Ing. (Yawata R & D Lab., Nippon Steel Corp.)



A : Rapid-cooling sampler.

B : Steel plate to adhere surface metal.

Fig. 1. Experimental apparatus.

Table 1. Experimental conditions.

Oxygen flow rate (Top blow)	2~5 Nm <sup>3</sup> /T · min
Ar flow rate (Bottom blow)	0.1~1.0 Nm <sup>3</sup> /T · min
Basicity of slag	1~2.5
Bath temperature	about 1700°C

Table 2. Bath composition before experiments for high and low carbon series.

	(wt%)					
Series	C	Si	Mn	P	S	Cr
High [C]	4.2	0.50	0.10	0.015	0.004	19
Low [C]	1.2	0.05	0.08	0.015	0.004	18

Table 3. Composition of synthetic slag.

SiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
20	40	25	10	5

(wt%)

点での、平均的なスラグにあわせてあり、すべて試薬を用いて調整している。吹錬中、約 3 min 間隔で、くみ上げ式サンプラーにより、溶鋼及びスラグ試料を採取し、同時に、消耗型熱電対を挿入して鋼浴温度を測定した。実験温度は、吹錬前を約 1450°C とし、吹錬開始後、約 5 min 間で 1700°C に上昇するように高周波の出力を調節し、その後は、1700°C で一定となるようにした。実際には、脱炭最盛期には、ほとんど高周波の出力を付与しなくとも温度は維持されており、高周波による攪拌の影響は排除されているとみなせる。

このほか、脱炭機構を解明するため、いくつかの実験中に、次の三つの調査をおこなった (Fig. 1)。

(a) 酸素濃淡電池による溶解酸素量の測定と、全酸素量との比較。

(b) 吹錬中の浴内懸濁物調査 (Fig. 1 の A)。

(c) 吹錬中の浴面生成酸化物調査 (Fig. 1 の B)。

酸素濃淡電池としては、固体電解質が MgO 安定化ジルコニアで、Cr-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 標準極のものを用いた。また、浴内懸濁物は、肉厚 12 mm の鋼板を、中央に幅 25 mm、深さ 50 mm で、4 mm 厚のスリットが入るように組合せて作った急冷サンプラーを浴内に入れて溶鋼を採取し、その断面を切断、研磨し、光学顕微鏡及び EPMA により調査した。この急冷サンプラーの上面には、あらかじめ木製の蓋がしてあり、その蓋をとめる針金の太さを調節することにより、浴内挿入後、約 1 s で蓋があくように工夫されている。試料の採取位置は、浴面下、約 100 mm の所に急冷サンプラーの上面がくるように設定した。EPMA による調査においては、各試料断面とも、任意の 9 視野について、1000 倍の 2 次電子線像と、酸素の特性 X 線像を撮影し、その中にある酸化物の個数と大きさを測定した。試料断面の位置による、酸化物の分布には差がなく、各試料についての観察面積は、全部で約 4 × 10<sup>4</sup> μm<sup>2</sup> となる。一方、吹錬中の浴面生成酸化物は、吹錬中に O<sub>2</sub> ガスが浴面に衝突する、いわゆる火点近くの浴面上に、厚さ 20 mm の鉄板を挿入し、これに浴面生成物を付着させ採取した。次いで、試料断面を研磨し、光学顕微鏡と EPMA で生成酸化物の形態や組成を調査した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 脱炭及び Cr の酸化ロスに及ぼす吹錬条件の影響

実験結果の 1 例を Fig. 2 に示す。この図より、[%C] が高い間は Cr ロスは少なく、約 0.5% 以下になると、急激に大きくなることがわかる。

このような脱炭挙動から、以後、次のように脱炭期を分けることにする。まず、[C] が約 3% までは、鋼浴温度が、所定の 1700°C までに達していない非定常状態のために、この領域を第 0 期とし、以後の解析からは除外することにする。一方、温度が 1700°C に達して

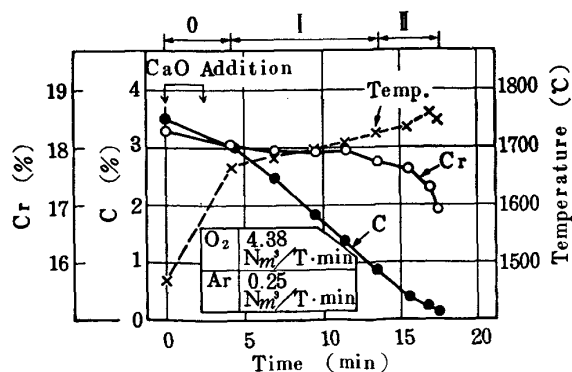


Fig. 2. Example of experimental result.

からの脱炭は、[C] の高い範囲は(1)式で、[C] が低くなると(2)式で近似でき、(1)式で示される範囲をI期、(2)式で示される範囲をII期とすることにする。

$$-\frac{d[\%C]}{dt} = \alpha \dots\dots\dots(1)$$

$$-\frac{d \log[\%C]}{dt} = \beta \dots\dots\dots(2)$$

Fig. 3 は、温度が 1700°C に達した後の脱炭曲線を、縦軸を対数とし、同一条件でおこなわれた、いくつかの実験結果を併せて示したもので、ここで、低炭素領域でのデータは、高炭素領域でのデータの延長線上に続けて記してある。この図より、I期は(1)式で、II期は(2)式で近似できることがわかる。

また、I期からII期への遷移が始まる臨界炭素濃度を C\* とし、具体的には、まず、約 3min ごとのサンプリング間隔ごとに、(1)式の α 値を計算し、その、ばらつきの範囲を [%C] が 3~1 の間で求めた。次に、[%C] が 1 以下の低炭素領域まで、同様に α 値を計算し、その値が、高炭素領域での、ばらつきの範囲を逸脱して低下しはじめる点を求め C\* とした。

Fig. 4 は、高炭素領域 (I期) での、吹錬中の [%C]

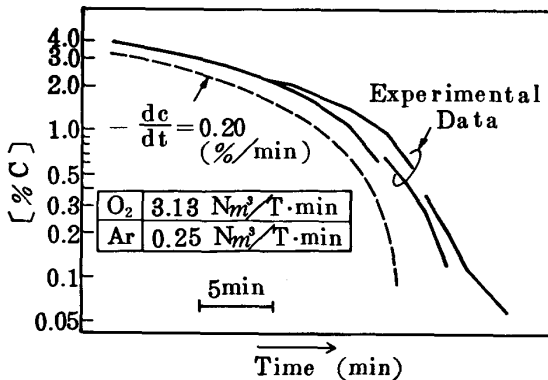


Fig. 3. Comparison of decarburization curve between high carbon and low carbon series.

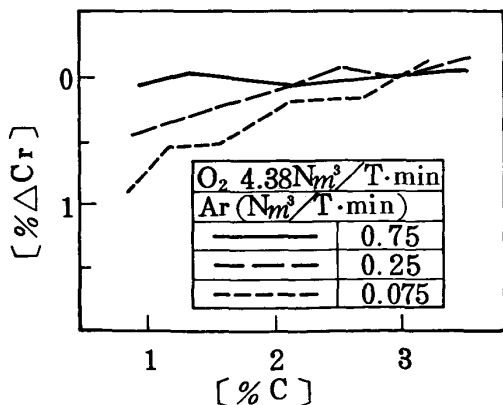


Fig. 4. Change of Cr content during decarburization in high carbon series.

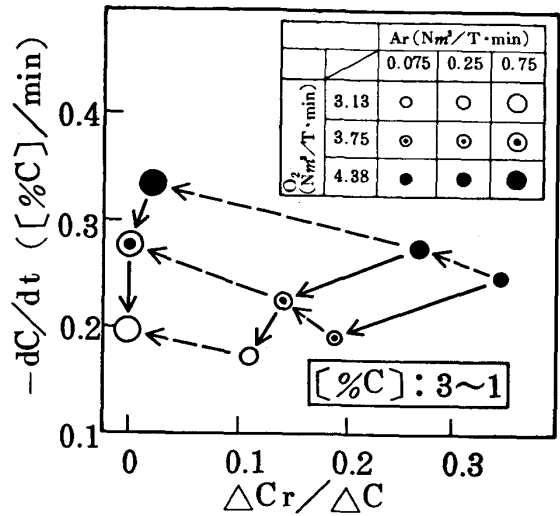


Fig. 5. Relation between Cr loss and decarburization rate in high carbon series (Stage I).

と Cr ロスの関係を見たものであるが、ここで、Cr ロスは [C] が 3% の所での [%Cr] を基準として示してある。これより、同一の酸素供給速度でも、鋼浴攪拌が強くなるほど Cr ロスは減少することがわかる。また、[%ΔCr] と [%C] との間には、ほぼ直線関係があり、後述するように、II期では [C] が低下するにつれて加速的に Cr ロスが増大するのは対照的である。Fig. 5 は、I期での脱炭速度と Cr ロスに及ぼす、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さの影響をまとめたものであり、横軸には、[C] が約 3% から 1% までの間の [%Cr] の低下を ΔC で規格化した値を、縦軸には、(1)式で近似した脱炭速度をとつてある。これより、同一攪拌力で酸素供給速度を増せば、脱炭速度は増すものの Cr ロスも大きくなるのに対して、同一の酸素供給速度で攪拌力を増せば、脱炭速度が大きくなるとともに、Cr ロスも低下することがわかり、I期で脱炭を高速におこない、かつ、Cr ロスを抑制するためには、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さを適切に組合せることが必要であると考えられる。

一方、Fig. 6 は、低炭素領域での [%C] と Cr ロスとの関係を見たものであり、この場合、Cr ロスは [C] が 1% の時点での [%Cr] を基準として表示してあるが、[%C] の低下につれて、加速的に Cr ロスが多くなっている。Fig. 7 は、II期での Cr ロスと脱炭速度に及ぼす、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さの影響をまとめたものである。ここで、横軸には [C] が約 0.3% から 0.2% までに低下する間の [%Cr] の変化を ΔC で規格化した値を、縦軸には、(2)式で表した脱炭速度をとつているが、I期と、定性的には、全く同じ傾向を示し

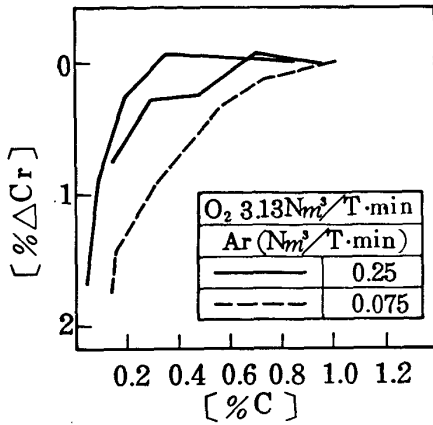


Fig. 6. Change of Cr content during decarburization in low carbon series.

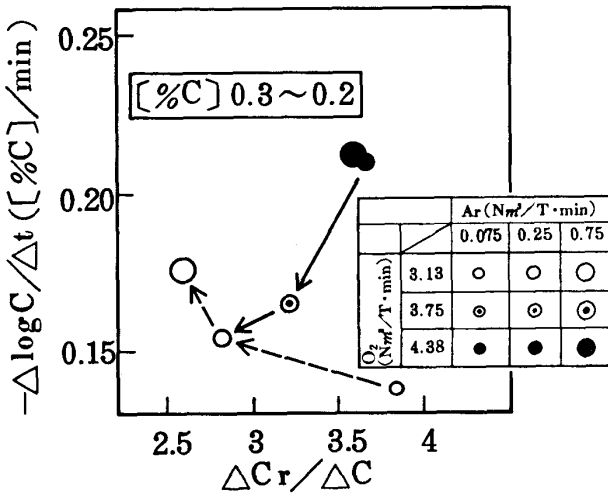


Fig. 7. Relation between  $\Delta Cr$  and decarburization rate in low carbon series (Stage II).

ている。したがって、II期においても、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さとのかねあいにより、脱炭速度やCrロスが規定されると考えられる。

Fig. 8は、I期からII期へ移る、臨界炭素濃度(C\*)に及ぼす吹錬条件の影響を示しているが、酸素供給速度を抑制するか、鋼浴の攪拌を強くすることにより、C\*が低炭素側に移動することがわかる。

3.2 高クロム溶鋼の脱炭機構の調査結果

脱炭試験中に測定した、酸素濃淡電池による溶解酸素濃度と全酸素濃度(Total O)とを、[%C], [%Cr]の変化とともに Fig. 9に示す。ここで、溶解酸素濃度(Free O)は、酸素濃淡電池により測定された溶解酸素の活量(a<sub>O</sub>)を、(3)式の活量係数<sup>13)</sup>を用いて濃度に交換した値である。

$$\log f_O = -0.113[\%C] - 0.04[\%Cr] + 0.0016[\%Cr]^2 \dots\dots\dots (3)$$

Fig. 10は、これをもとに、全酸素濃度と溶解酸素濃

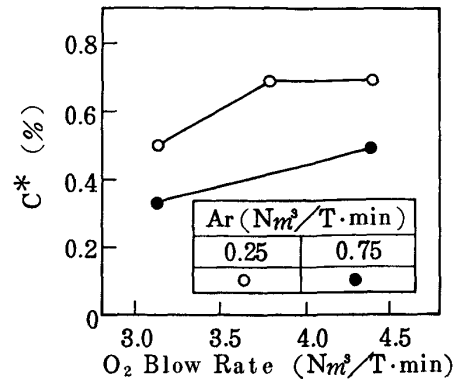


Fig. 8. Dependence of critical carbon content on oxygen blowing rate and Ar flow rate.

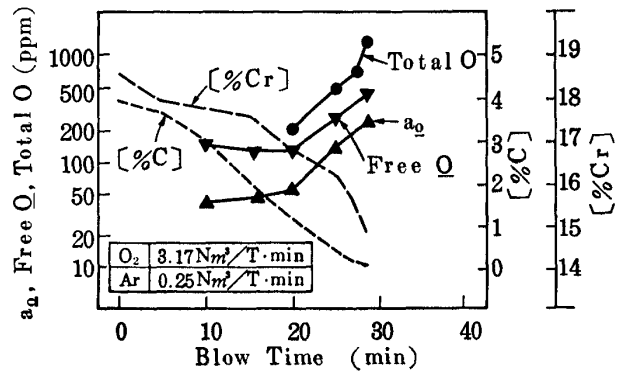


Fig. 9. Change of oxygen content during decarburization.

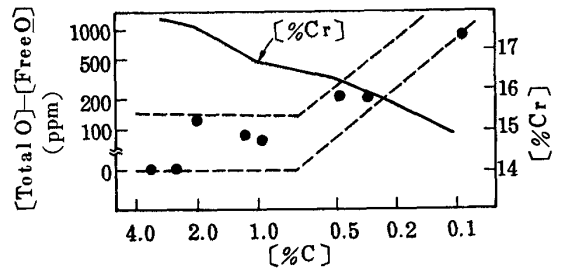


Fig. 10. Change of the difference between total oxygen and dissolved oxygen during decarburization.

度との差と、[%C]との関係を見たものである。これより、[C]が1%から0.5%まで低下した時点より両者の差が明瞭に現れはじめ、[C]がさらに低下するにつれてその差は大きくなり、[C]が0.1%では、じつに1000ppmもの差が生じていることがわかる。これに対して、Fig. 11に、脱炭中に採取した急冷サンプラー断面内に観察された、直径1μm以上、及び直径2μm以上の大きさの酸化物個数と[%C]との関係を示すが、[C]が1%以下(II期)になると小さな酸化物が見られはじめ、さらに、0.5%以下になると、2μm以上の酸化物が現れ、その数が[%C]の低下につれて増加する傾向を示している。このことは、Fig. 10の結果と対

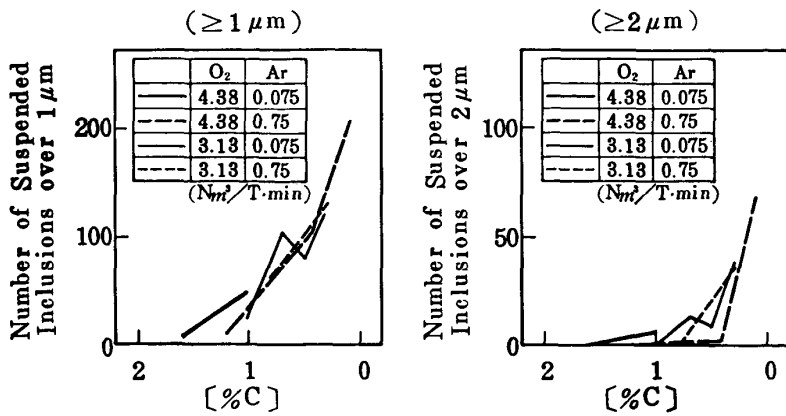


Fig. 11. Relation between the number of suspended oxide inclusions and carbon content.

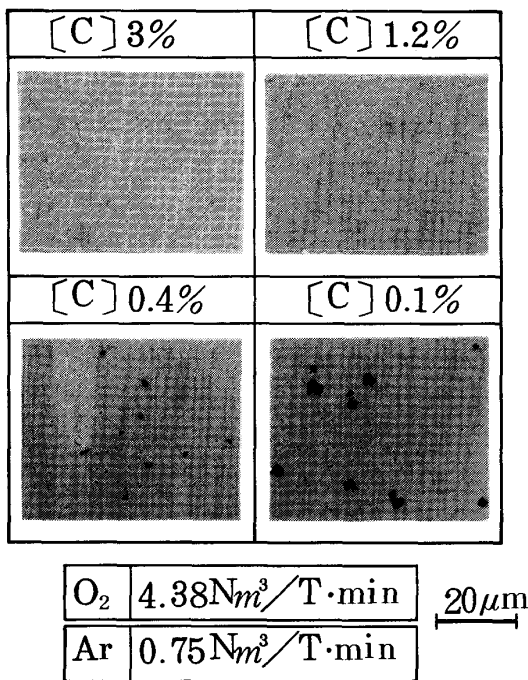


Photo. 1. Example of suspended inclusions in bath.

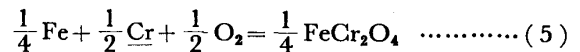
応しており、低炭素濃度になるにつれ(Ⅱ期)、溶解していない酸素、つまり懸濁酸化物が増えてくることを示していると考えられる。Photo. 1 に懸濁酸化物の 1 例を示す。これらの酸化物を、EPMA で定量分析した結果、FeO·Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に近い組成であることがわかった。

一方、Photo. 2 は、低炭素領域での浴面付着試料の断面写真であるが、浴面に 100 μm 近い粗大酸化物があり、それが分散して小さな酸化物となり、浴内へ懸濁していく様子が認められる。この粗大酸化物の組成を EPMA で調べると、中心部(O部)は、ほぼ、FeO であるのに対し、外周部(A部)は、FeO 相と Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相の 2 相より構成され、さらに、浴内に分散した小さな酸化物(B部)は FeO·Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に近い組成で、急冷サンプル断面に見られたものと、ほぼ同じ組成であることが

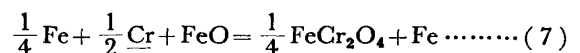
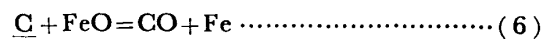
わかった。また、[C] が約 1% の時に採取した浴面付着試料には、Photo. 2 のような酸化物は認められなかった。

#### 4. 考 察

まず、高クロム溶鋼の脱炭機構についての考察をおこなう。一般に、低炭素領域における高クロム溶鋼の脱炭は、浴面に吹き付けられた O<sub>2</sub> が、まず、クロム酸化物を形成し、それが浴内で [C] により還元されることで進行するとされている<sup>9)~11)</sup>。これに対して、Photo. 2 を見ると、浴面で生成したと思われる粗大酸化物粒の中心は、FeO であり、それが、外側になるにつれて Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の濃度が高まっていく様子わかる。このことは、浴面に吹き付けられた O<sub>2</sub> は、クロム酸化物を形成する前に、いつたん、FeO を生成していることを示していると思われる。そこで、まず、O<sub>2</sub> ガスによる、次の二つの酸化反応について、1700°C、18%Cr、P<sub>O<sub>2</sub></sub>=1 の条件下における自由エネルギー変化(ΔG)を計算してみる<sup>13)14)</sup>。



その結果、(4)式が -143 kJ/mol、(5)式が -176 kJ/mol となる。さらに、(4)式で生成された FeO の還元反応として、次の反応について ΔG を計算してみる。



その結果を Table 4 に示すが、常に(6)式の ΔG が小さい。したがって、ここで認められた、FeO や FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> は非平衡的なもので、従来、普通鋼吹錬で提唱されていた<sup>15)</sup>、火点において非平衡的に形成される FeO\* に対応するものと思われる。しかし、高クロム鋼の場合は、

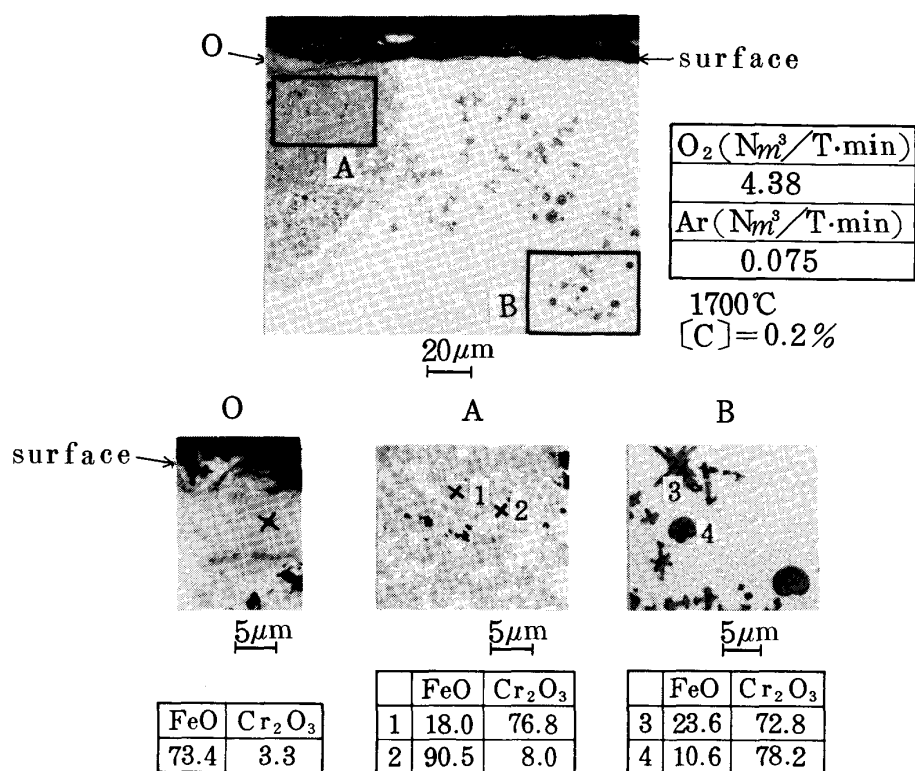
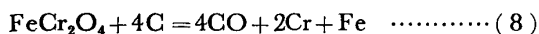


Photo. 2. Example of coarse oxide particle at surface.

Table 4. ΔG of each equations.

[%C]	4	1	0.5	0.1
ΔG of Eq. (6)	-80.5	-95.5	-106.9	-118.3
ΔG of Eq. (7)	-32.5	-32.5	-32.5	-32.5

FeO が、さらに FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> へ変化している点に特徴がある。また、浴内へ巻き込まれている粒子が、FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> であることを見ると、結局、鋼浴全体の脱炭反応は、(8)式によつて進行するものと考えられる。



一方、本実験結果を見ると、高クロム鋼の脱炭は、普通鋼と同様に<sup>16)</sup>、脱炭速度が [%C] に依存しない I 期と、[%C] の低下に伴い減少する II 期とに分けられることがわかる。これは、普通鋼の場合の(6)式に対応した、(8)式の脱炭反応の反応速度に依つて、高炭素領域 (I 期) では、酸素の火点への供給速度律速、低炭素領域 (II 期) では、鋼浴中の [C] の、FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 粒子への移動速度律速になつているためと考えられる。

ところで、ここまでは脱炭反応機構に関する考察をおこなつたが、実操業においては、吹錬の進行に伴う Cr ロス量を予測することが重要である。そこで、次に、Cr ロス量を規定する指標について考えることとする。

まず、高炭素領域である I 期の Cr ロスは、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さとの相対関係で決まると考えられる。この両者の関係を表す指標として、ISCO 値<sup>17)</sup>や BOC 値<sup>18)</sup>が提案されている。それぞれの定義を(8)式、(9)式に示すが、基本的には、酸素供給速度を、反応サイトに単位時間当たりに供給される溶鋼量 (溶鋼の環流速度) に比例する量で割つたものであるが、ISCO 値には、CO 分圧に相当する項が入つている特徴があり、一方、BOC 値には、分母に [%C] が入つている特徴がある。

$$ISCO = \left( \frac{2Q_{O_2}}{2Q_{O_2} + Q_d} \right) \left( \frac{Q_{O_2}}{W/\tau} \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$BOC = \frac{Q_{O_2}}{(W/\tau) \times [\%C]} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $Q_{O_2}$  : 酸素供給速度 (Nm<sup>3</sup>/min)  
 $Q_d$  : Ar ガス供給速度 (Nm<sup>3</sup>/min)  
 $W$  : 溶鋼重量 (t)  
 $\tau$  : 均一混合時間 (s)

Fig. 12 は、I 期の Cr ロスと ISCO 値、BOC 値との関係を見たものである。ここで、I 期の Cr ロスは、[%C] にあまり依存しないため、BOC 値の分母にある [%C] は 1 と固定してある。こうすると、BOC 値は ISCO 値と、ほぼ等しくなり、両者とも Cr ロスと良く

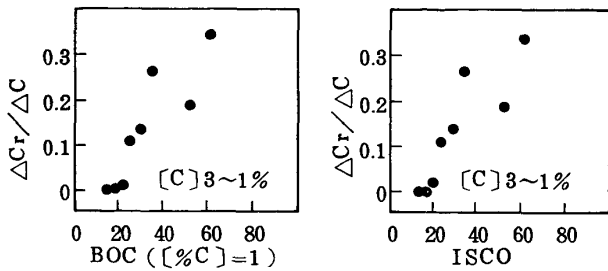


Fig. 12. Relation between  $\Delta Cr/\Delta C$  and ISCO, BOC ( $[\%C]=1$ ) in Stage I.

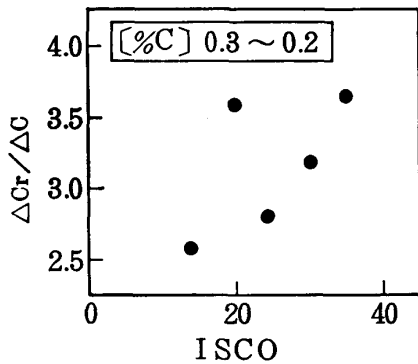


Fig. 13. Relation between  $\Delta Cr/\Delta C$  and ISCO in Stage II.

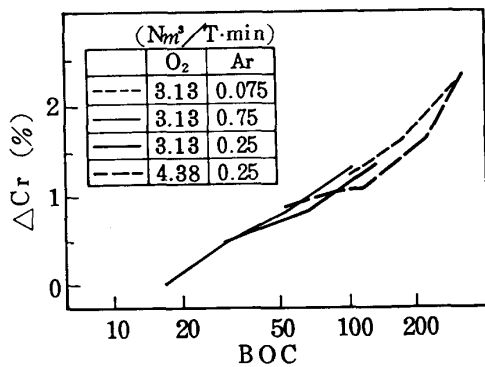


Fig. 14. Relation between  $\Delta Cr$  and BOC during decarburization in Stage II.

対応している。このことは、I期のCrロス量は、ISCO値やBOC値( $[\%C]=1$ )を用いることにより、十分に予測できることを示唆していると思われる。

一方、II期においても、Crロスは酸素供給速度と攪拌強度で規定されると考えられる。しかし、II期のCrロス(Fig. 7)とISCO値との対応を見ると、Fig. 13のように、相関は認められるものの、あまり良くない。また、II期のCrロスは、 $[\%C]$ の低下に伴い加速的に大きくなるため、 $[C]$ に依存しないISCO値では、十分な精度で予測することは困難であると思われる。これに対して、Fig. 14は、II期での、脱炭に伴う $[\%Cr]$ の低下( $C^*$ での $[\%Cr]$ を基準としている。)を、 $[\%C]$ の低下に伴うBOC値の増加で整理したものである

が、吹錬条件によらず良い対応が認められる。したがって、II期の、脱炭の進行に伴うCrロス量は、BOC値を用いることにより予測可能であると考えられる。

ところで、前記のような脱炭機構を考えると、II期の脱炭は、クロム酸化物の生成速度(酸素供給速度)と、浴内での $[C]$ による還元速度(攪拌強度、 $[\%C]$ )との相対関係で決まり、脱炭反応に、十分に供されずに浮上したクロム酸化物がCrロスを引きおこすとすれば、Fig. 14の関係は、定性的には説明できる。また、攪拌強度が大きい場合には、より低い $[\%C]$ まで酸素の供給律速が続くため、 $C^*$ は低くなり、逆に、同一攪拌強度で酸素供給速度を増せば、I期の脱炭速度が大きくなるため、 $C^*$ は高くなることになり、Fig. 8の結果も妥当と考えられる。

これに対して、I期について見ると、前記の機構からは、Crロスは起こらないと予想され、Fig. 12の結果と矛盾が生じる。しかし、I期のCrロスは $[\%C]$ の低下に伴い、ほぼ直線的におこっていることから、II期のCrロスとは、別の機構であることが考えられる。ところで、真空中で上吹き $O_2$ を用いて高クロム溶鋼の脱炭をおこなった場合、火点で生成された酸化物が、浴面の流れに乗って、炉壁へ向かって移動していく、という観察結果が報告されている<sup>9)~11)</sup>。本実験の場合には、脱炭反応が激しく、浴面を観察することはできなかつたが、同様な現象は起こっていると思われる。一方、トップスラグは、 $Cr_2O_3$ が約20~30%と高く、スピネル相が晶出している状態にあり、スラグ-メタル反応は、非常に起こりにくいと予想される<sup>19)</sup>。これらのことから考えると、I期でのCrロスは、いつたん、浴面で生成したクロム酸化物のうち、浴内に巻き込まれずに、浴面の流れに乗って炉壁方向へ移動したものが、トップスラグにトラップされたために起こるものと推察される。この機構にもとづくと、Crロスは、酸化物生成速度(酸素供給速度)と、浴面生成酸化物が浴内に巻き込まれる確率(攪拌力)との相対関係で決まり、ISCO値や、 $[\%C]$ を固定したBOC値との対応も妥当なことになる。

### 5. 結 論

小型の高周波炉を用いて、高クロム溶鋼の脱炭に関する基礎的検討をおこなった。その結果、次の点が明らかになった。

- (1) 脱炭は、(1)式に従って起こる第I期と、(2)式で近似される第II期とに分かれ、I期からII期へ遷移する。臨界炭素濃度は、酸素供給速度を低下させるか、鋼浴の攪拌強度を増すことにより低下する。

(2) 第Ⅰ期では、酸素供給速度を大きくすると、脱炭速度は増加するが、Crロスも大きくなるのに対して、攪拌強さを増せば、Crロスが減るとともに、脱炭速度も増加する。また、Crロスは、ISCO値や、[%C]を固定したBOC値と良く対応する。

(3) 第Ⅱ期でも、脱炭速度やCrロスは、酸素供給速度と鋼浴攪拌強さとの相関で決まり、脱炭の進行に伴うCrロスは、BOC値と良く対応する。

(4) 吹錬中、鋼浴内の全酸素濃度は、[%C]が低下するにつれて、次第に溶解酸素濃度よりも高くなり、これに対応して、 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ に近い組成を持つた、浴内懸濁酸化物が現れる。

(5) 脱炭中の浴面には、低炭素領域になると、粗大な酸化物粒が認められ、それを起点として、微細な $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ に近い組成の酸化物が、浴内へ分散して入っていく様子が観察された。

#### 文 献

- 1) 田中 功, 鹿子木公春, 権藤宇一, 内村鉄男, 稲富俊隆, 槌永雅光: 鉄と鋼, 69 (1983), S143
- 2) 村上昌三, 佐藤宣雄, 内村鉄男, 青木裕幸, 槌永雅光, 小林雅明: 鉄と鋼, 70 (1984), S1017
- 3) 甲斐 幹, 星 記男, 上館良興, 山上哲也: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 680
- 4) 山田純夫, 田岡啓造, 朝穂隆一, 広瀬充郎, 今井卓雄, 小沢三千晴: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 1886
- 5) R. J. FRUEHAM: Ironmaking Steelmaking, 3 (1976), p. 153
- 6) 中村 泰, 大野剛正, 桑原正年, 鈴木 嵩: 鉄と鋼, 58 (1972), A21
- 7) 大野剛正, 西田祚章: 鉄と鋼, 63 (1977), p. 152
- 8) 小林芳夫, 丸橋茂昭: 鉄と鋼, 63 (1977), p. 158
- 9) 桑野知矩, 丸橋茂昭, 青山芳正: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 863
- 10) 渡辺哲弥, 峠 竹弥: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 1224
- 11) 中西恭二, 大井 浩, 住田則夫, 鈴木 宰: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 1523
- 12) 中村英夫, 河井良彦, 尾関昭矢: 鉄と鋼, 70 (1984), S1020
- 13) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼便覧, I基礎 (1981), p. 3 [丸善]
- 14) AIME: BOF Steelmaking vol. 2 (1975), p. 1
- 15) 渡辺司郎, 山口 紘, 手塚 誠, 一戸正良: 鉄と鋼, 57 (1971), S259
- 16) 川合保治: 鉄冶金反応速度論 (1973), p. 87 [日刊工業新聞社]
- 17) 斉藤健志, 中西恭二, 加藤嘉英, 野崎 努, 江見俊彦: 鉄と鋼, 68 (1982), A41
- 18) 甲斐 幹, 大河平和男, 平居正純, 村上昌三, 佐藤宣雄: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 1946
- 19) 榎戸恒夫, 片山裕之, 桑原正年, 藤田正樹, 佐々木俊明: 鉄と鋼, 70 (1984), S117