

討 8

液中ジェットの特性と精錬挙動

住友金属工業(株) 中央技術研究所 工博 池田隆果 多賀雅之
青木健郎 ○増田誠一

I 緒 言

AOD法は、酸素-アルゴン混合ガスを浴中に横吹き、反応生成物であるCOガスを希釈させることによりCrの酸化を抑制し、脱炭を促進させることを特長とする精錬法である。またその還元仕上げはArによる強い攪拌力のために、Cr回収と脱硫の両面において電気炉を上回るものとなっている。Arジェットによる浴攪拌は、精錬反応の反応速度に対して重要な役割を果たしていることから、液中ジェットの影響を明確化するために、水モデルにより液中のジェット特性を検討した。さらに、2.5 t実験転炉を用い、Arジェットの役割が明らかとなるように酸素-Arの供給系を分離した精錬法における精錬挙動についてステンレス鋼および炭素鋼を対象に調査した。

II 液中ジェットの特性

精錬反応に大きな影響力を持つ液中ジェットの攪拌力と気泡の生成を検討するために、その侵入深さと圧力分布の測定を行なった。

1. 実験方法(図1)

深さ1 mの水槽の側壁に羽口を取り付け、圧空を用いて(1)ピトー管、静圧管による全圧、静圧分布¹⁾の測定、(2)電極探子による気液混合状態の測定、(3)歪ゲージ式圧力センサーによるジェットの後退現象²⁾の測定をそれぞれ行なった。測定には、二重管羽口、単管羽口、絞り部を設けたラバー型羽口の3種類を使用した。

2. ジェットの圧力分布と気液分布

図2に、ストレート型およびラバー型羽口の圧力分布と気液分布の測定結果を示す。ジェットは液中でも大気中と同様にコア部を形成し、引続き自由噴流域が形成されて減衰していく。コア部においては、大気中と同じピッチの圧力分布の波が存在する。ジェットは大気中より早く減衰し、コア部の長さは大気中のジェットの約60%に縮小される。気液分布は、ストレートノズルでは羽口内径の29倍(29D)の位置まで90%以上の気体比率となっており、その後60Dまでは直線的に液の比率が増加する。この領域はガスと液との混合がもっとも盛んであり、冶金反応上重要な部分と考えられる。また、ここでは動圧はほとんど0となっており、ジェットの静圧と液の静圧がスタティックにバランスした不安定な領域を形成し、気泡の生成場所となっている。ラバー型羽口では、圧力分布と気液分布の状態から、ストレート型羽口よりもこの領域が液中により深く侵入していることがわかる。

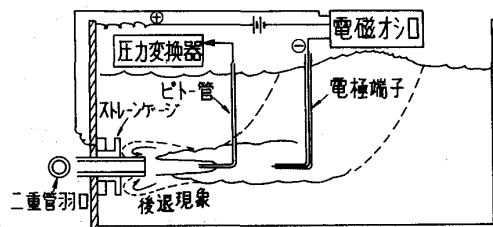


図1. 液中ジェットの概念図と測定法

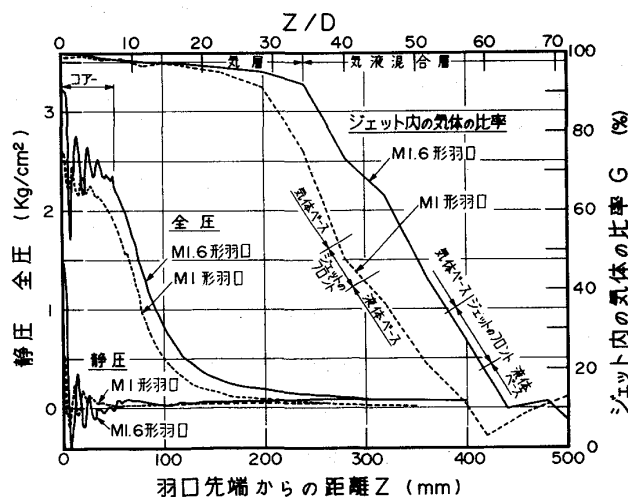


図2. 液中ジェット内の圧力分布と気液混合比率

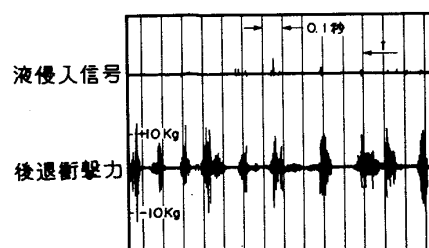


図3. ジェットの後退現象と液侵入の関係

3. 液中ジェットの後退現象

液中にジェットを吹込むと、ジェットの羽口方向へ後退現象が見られることはよく知られている。²⁾ このジェットの後退衝撃力と発生タイミングを測定したところ、後退周期は40回/minで衝撃力は10~20kgであった。(図3) また、後退現象と同時にコア内部へ水が侵入していることが、電極探子による測定から判明した。このことからジェットの後退現象は図4に示すように液中に長く伸びたキャビティーが途中をつぶれて、液体の壁が突然できるために瞬間的にキャビティー壁にそってジェットが吹きもどされるものと考えられる。この後退現象は羽口周辺耐火物の極部の溶損に対して機械的な損傷と同時に、酸素ガスが耐火物に吹付けられることによる熱溶損として作用する。

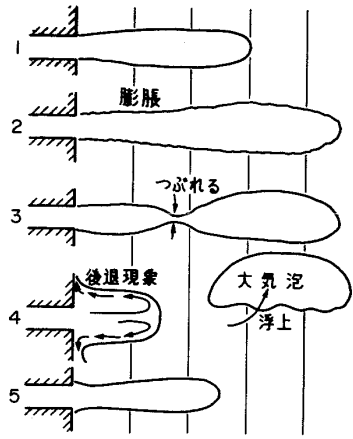


図4. 後退現象の機構

また冶金反動的には、キャビティーがつぶれることにより発生する大径気泡は、ガスと溶鋼との接触面積を減少させ、反応速度を低下させると考えられる。この後退現象は、ジェットの吹込速度の増加により(ラバール型羽口)減少する傾向を示す。

III. Ar ジェットを伴うステンレス鋼の精錬挙動

AOD法の精錬挙動から、酸素とArの供給系を分離しても精錬が可能と考え、酸素供給量を自由に変化させることができ、羽口の溶損も少ないと考えられる酸素上吹-Ar横吹法について、AOD法と比較検討を行なった。

1. 実験方法

すでに報告した^{3),4),5)} ように、2.5 t実験転炉の炉底部側壁に2本の羽口を装着し、1.2~2.0% C配合の18Cr-8Ni鋼(2.4 t/ヒート)を用いて、酸化精錬および還元精錬を行なった。

2. 酸化精錬

(1) 高炭域の[C]の挙動：脱炭初期に脱硅とMn酸化が起り、次いで脱炭反応が優先的に進行する。この脱炭最盛期は約0.4% Cまで続き、図5に示すように送酸速度に応じて脱炭が進行しており、この時期の脱炭反応は酸素供給律速となっている。また、酸素上吹-Ar横吹法では送酸速度が約2.5倍であるため、0.4% Cまでの吹錬時間が半分となっている。

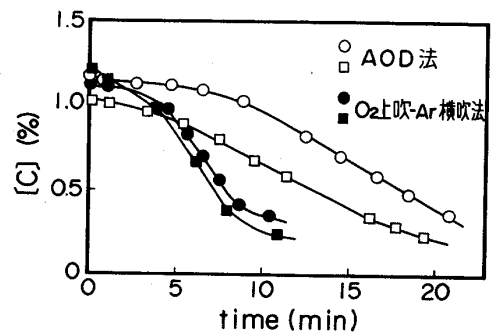


図5. 高炭素領域での脱炭挙動

(2) 低炭域の[C]の挙動：約0.4% C以下では図6に示すようにlog Cが精錬時間に対して直線的に低下していることから、脱炭速度がC濃度に依存していると考えられる。したがって、脱炭速度は(1)式で表わすことができる。さらにAr気泡の表面で[C]-[Cr]-[O]-P_{CO}が平衡であると仮定すると、(1)式より(2)式が導出できる。

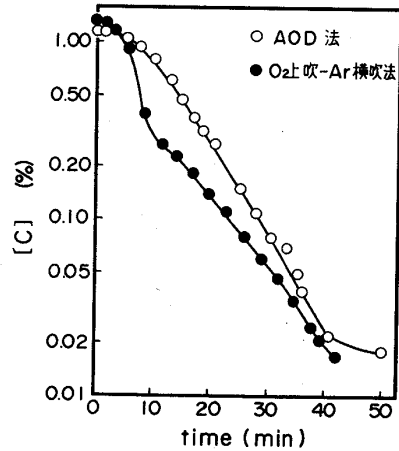


図6. 低炭素領域での脱炭挙動

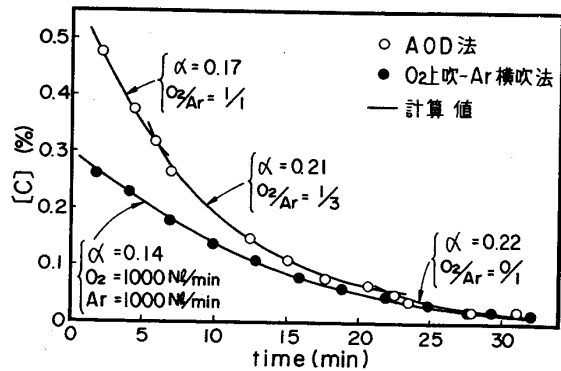


図7. 低炭素領域での脱炭挙動(計算値との比較)

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

$$-\frac{d[\%C]}{dt} = \alpha \left([\%C] - \frac{\frac{d[\%C]}{dt} \times [\%C] \cdot W_M}{K \cdot M_C \cdot 10^2}}{\frac{d[\%C]}{dt} \times \frac{W_M}{M_C \cdot 10^2} - N_{Ar}} \right) \quad (2)$$

K : 平衡定数,⁶⁾ W_M : 溶鋼重量, M_C : Cの原子量, N_{Ar} : Ar流量

図7.に示すごとく, AOD法, 酸素上吹 - Ar 横吹法のいずれの場合でも, 脱炭挙動が(2)式による計算値とよく一致していることから, この時期の脱炭反応はC拡散律速となっており, Arによる鋼浴の攪拌効果とCOガスの希釈効果により, 酸素供給形態にかかわらず優先脱炭が進行していることがわかる。また, 脱炭速度係数αは浴温度が高い程 Ar 流量が多い程大きくなる傾向を示す。

(3) Cr 酸化挙動: Crの酸化は図8に示すように, AOD法では脱炭Ⅱ期以後に進行するが, 酸素上吹 - Ar 横吹法では初期の送酸速度の高い時期に集中している。これは上吹法では純酸素を大量に供給するため, スラグ中にCr酸化物がある程度生成しないと脱炭が進行しないためと考えられる。図9に溶鋼量変化で補正したCr酸化量と, 脱炭に消費されなかった酸素から算出したCr酸化量を低炭域について示した。

両者はよく一致しており, Crの酸化は供給された酸素の中で脱炭に消費されなかった酸素量に応じて進行していることがわかる。しかし, いずれの精錬法においても, Cr酸化は同程度で, 約3%である。

3. 還元精錬

(1) Cr₂O₃の還元挙動: スラグ中の(Cr₂O₃)の還元速度は, その時のスラグ中(Cr₂O₃)含有量に依存していることから, 還元速度は(3)式により整理することができる。

$$-\frac{d(Cr_2O_3)}{dt} = k' [(Cr_2O_3) - (Cr_2O_3)_e] \quad (3)$$

(Cr₂O₃)_e : 還元限界, k' : 還元速度係数

このことから, Crの還元速度はスラグ中での(Cr₂O₃)の拡散に律速されていることがわかる。また, 還元速度係数k'はスラグ塩基度の上昇とともに増加する。図10にスラグ中(Cr₂O₃)と塩基度((%CaO+%MgO)/%SiO₂)との関係を電気炉法での関係と, Crafts⁷⁾らの実験結果とともに示す。AOD法では強い攪拌力のために0.5%(Cr₂O₃)が容易に実現可能である。

(2) 脱硫挙動: (S)/[S]とスラグ中(Cr₂O₃)および塩基度との関係を図11, 12に示すが, 脱硫に対しては, スラグの塩基度が高いほど有利である。すなわち, 塩基度を1.7以上に確保すれば, スラグ中の(Cr₂O₃)は0.5%以下に低下し, 十分な脱硫が期待できることから, シングルスラグ法でも操業が可能である。また, AOD法では強い攪拌力によりSを0.001%以下に低下させることができる。

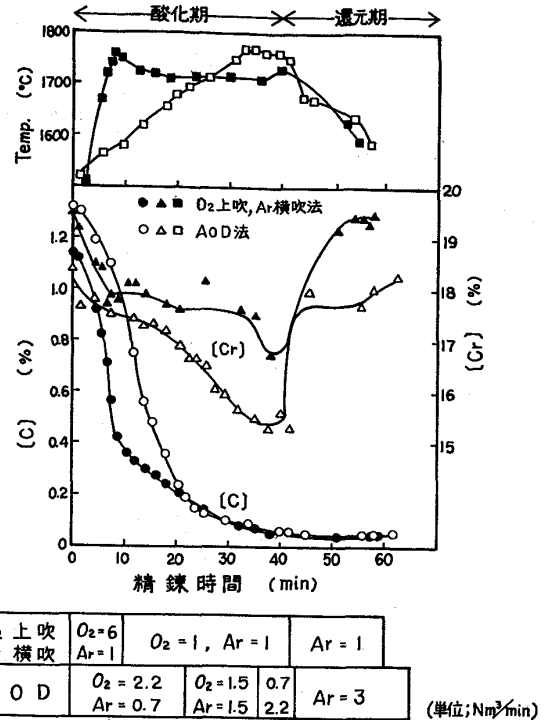


図8. 酸素上吹 - Ar 横吹法とAOD法の比較

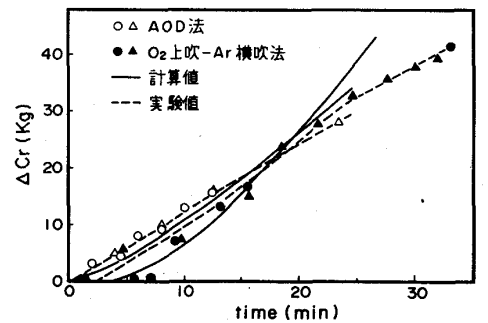


図9. Cr酸化量(実験値と計算値の比較)

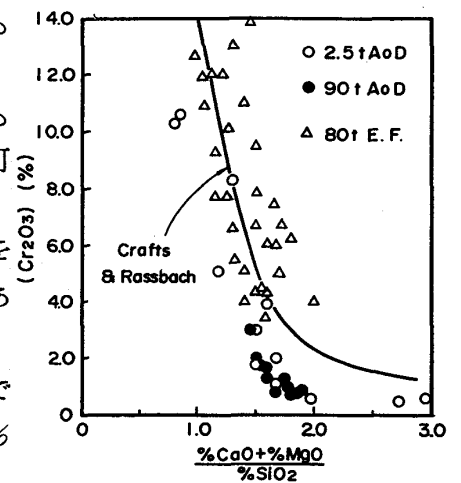


図10.スラグ塩基度とスラグ中(Cr₂O₃)

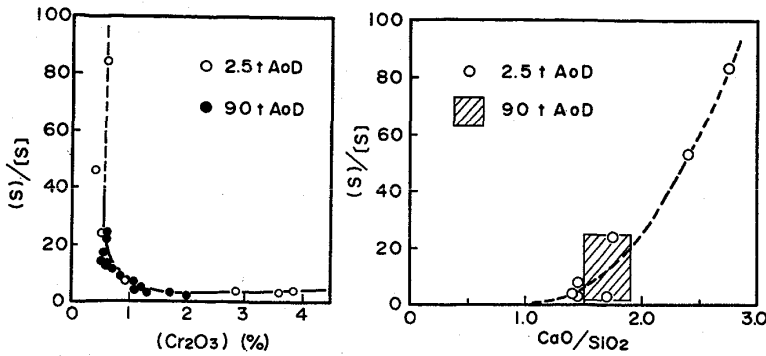


図11. (S)/(S)と(Cr₂O₃)の関係
図12. (S)/(S)とスラグ塩基度の関係

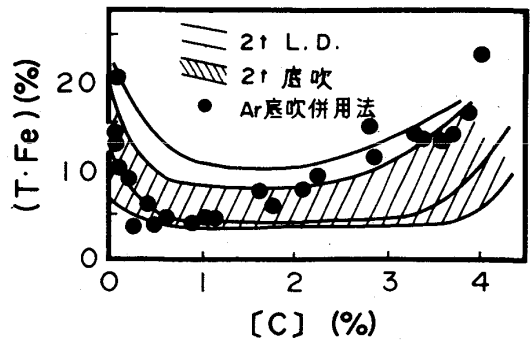


図13. Ar底吹併用法におけるT.Feの挙動

IV. Ar 底吹を伴う炭素鋼の精錬挙動

ステンレス鋼と同様に、LD転炉においてもAr 攪拌を併用することにより吹錬の改善が可能と考え、同様の実験を行った。

1. 実験方法

前述同様、炉底部側壁に2本の羽口を装着し、Arガス0.1~0.84Nm³/min·tを横吹き、転炉吹錬実験を行った。

2. 精錬挙動

通常の上吹精錬と比較してMn酸化が少なく、また図13に示すようにスラグ中(T.Fe)の変化は同じ2.5t炉で行なった底吹精錬とほぼ同等の挙動を示した。スラグの滓化と脱炭

は滓化剤としての蛍石とランス操作およびAr流量の調整により、良好な条件を得ることができる。また、送酸停止後のAr吹込みによる攪拌とCOの希釈効果により、図14に示すように容易に0.01%以下まで脱炭できることを確認した。

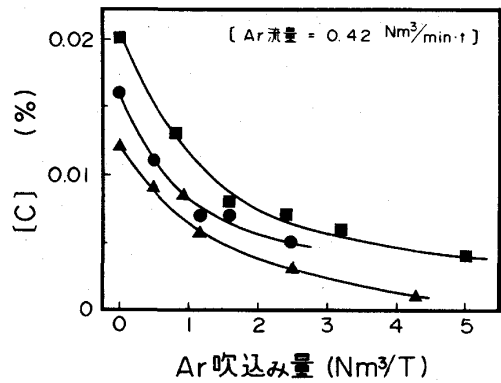


図14. 吹錬後のAr吹きによる脱炭挙動

V. 結 言

Ar 攪拌を伴う精錬法を検討すべく、水モデルおよび2.5t実験転炉を使用して調査した結果

- (1) 液中ジェット超音速化によりジェットの侵入を深くすることができ、かつジェットの後退現象を減少することが出来る。この結果羽口溶損の防止のみならず、精錬反応にも効果が期待できる。
- (2) ステンレス鋼の脱炭は酸素供給形態にかかわらず、高炭域では酸素供給律速、低炭域ではC拡散律速を示し、Cr酸化は脱炭に消費される以外の酸素量により決定づけられる。すなわち、酸素供給形態にかかわらずArガスによるCOガスの希釈と攪拌効果によりステンレス鋼の精錬は可能である。また、還元期のCr還元はスラグ中での物質移動に律速されており、スラグ塩基度を1.7以上にすれば、強いAr攪拌により0.5%(Cr₂O₃)が容易に得られ、十分な脱硫も可能である。
- (3) 上吹転炉での炭素鋼の精錬では、Ar攪拌の併用によりスラグ中(T.Fe)の減少と、安定した滓化条件が得られることがわかった。さらに吹錬後のAr吹きにより容易に0.01%以下まで脱炭できることを確認した。以上のようにArによる浴攪拌は、COガスの希釈効果と精錬反応の促進に対し重要な役割を果す。

文 献：(1)池田, 青木; 鉄と鋼, 62(1976)S510 (2)石橋, 白石, 山本, 島田; 鉄と鋼, 61(1975)S111
 (3)池田, 多賀, 福井; 鉄と鋼, 64(1978)S181 (4)池田, 多賀, 増田, 吉田; 鉄と鋼, 64(1978)S589
 (5)池田, 多賀, 増田; 鉄と鋼, 65(1979)S166 (6)A.Sinkovich, and C.W. Mc Coy; Trans. A. I. M. E. 221(1961)416
 (7)W.Crafts and H.P. Rassbach; Elec. Furn. Steel Proc., 9(1951)95