

日本鋼管技術研究所

○ 梶井 明, 坂田 直起

工博 根本秀太郎

1 緒言

京浜製鉄所

大久保益太

真空脱ガス処理は真空を利用することにより鋼に有害なガス成分を除去すること、カーボン脱酸による脱酸生成物を残さず脱酸が可能で、無酸化性雰囲気を利用して強脱酸剤を正確に添加でき、脱酸生成物の浮上分離を積極化させることが可能になった。清浄な鋼を製造する際に常に問題となる非金属介在物は主に製造の際の脱酸プロセスにより左右されるが、従来の製造プロセスでは鋼種と製鋼炉の種類によりその脱酸法はおのずと限定され、したがってその結果生ずる介在物およびその欠陥等をコントロールすることはほとんど不可能であった。しかし真空脱ガス法の導入により脱酸は鋼種、製鋼炉に無関係に行なうことができ、従来鋼種の改善のみならず新鋼種の開発にも貢献するところが大きい。本報では真空脱ガス処理中の脱酸パターンが介在物の形態および量にどのように影響するかを調べ、それが鋼の内質におよぼす効果について述べる。

II 真空脱ガス法における脱酸の基本メカニズム

真空脱ガス処理中における脱酸のメカニズムは大きく2つに分けられる。第1は減圧下における free O と C との反応を利用したもので脱酸生成物は CO ガスとして除去されるため最も好ましいタイプであるが実際には脱ガス後の O がその時の C 量に依存するため若干の問題点が残っている。すなわち真空処理前の O がその時の free O に較べ化学量論比より大きければ O は十分低下するが、O が不足していれば O は C に対する当量分しか脱酸されない。そのほか実際には系外から O が供給されること(スラグ, 耐火物), C-O 反応に速度論的因子が加わり実際の圧力に対応する値まで O が低下しないことなどがある¹⁾。DH脱ガスの場合 Fig-1に示すように約 0.1atm の Pco に相当する C-O 値まで脱酸が可能である。

第2は強制脱酸法の併用であるがこれに関しては脱ガス法とは無関係に古くから取り上げられており、脱酸剤添加後の任意の時刻 t における O は $O(t) = O_0 \exp(-kt)$ (O_0 : 脱酸前の free O, k: 脱酸速度定数) と表わされることがわかっている²⁾。この場合脱酸剤濃度と酸素濃度からなる過飽和度が大きい場合には Al₂O₃ の小さな粒子が多数集まって一体となりクラスターを形成する。これは浮上速度が大きく脱酸は急速に進行する。逆に過飽和度が小さければこのようなクラスター状介在物は形成しにくく、粒子は単独で存在するため浮上性が悪く脱酸速度は小さくなる³⁾。以上の現象は DH脱ガス処理においても見られ、C脱酸によって脱酸剤添加前の free O のレベルを変化させ Al 脱酸した場合の脱酸速度定数 k と脱酸剤添加前の free O の関係を求めると Fig-2 のようになる。k の値はこのほかに溶鋼の攪拌強度にも依存することが知られている⁴⁾。これは溶鋼を攪拌することにより介在物粒子同志のあるいは介在物粒子とるつぼ壁との衝突の頻度を高め介在物の分離除去速度を高めるからである。

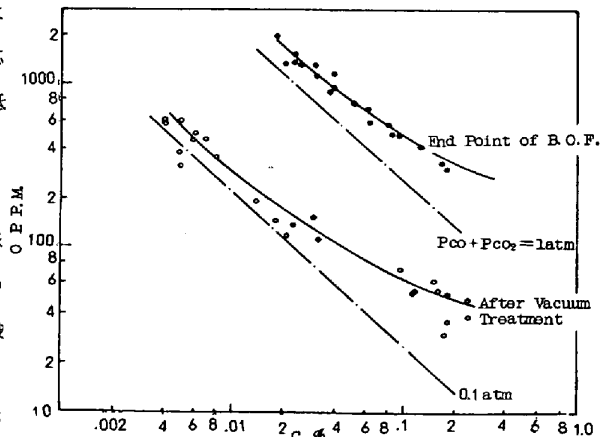


fig-1 脱ガス処理前後の C-O 関係

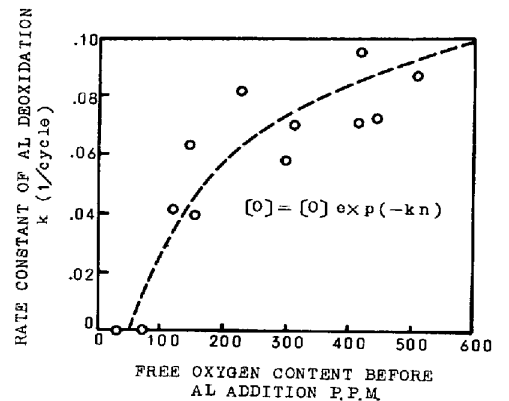


Fig-2 脱酸速度定数と Free O の関係

DH脱ガス法ではこの溶鋼の攪拌はスノーケルから流出する溶鋼のモーメントにより行われるから、昇降サイクルのパターンを変えることにより攪拌強度を変えることが可能である。以上の理由からDH脱ガス処理中での強制脱酸は脱酸速度を規定するkを自由にコントロールできるのが特徴である。

III DH処理中における脱酸パターンの分類

前章で述べた脱酸のメカニズムが実際のDH処理においてどのように応用され、その結果どのような脱酸経過となるかをこの章で述べる。脱酸の時期としては出鋼時における強制脱酸とDH処理中の真空脱酸および強制脱酸に分けられ、これらの組み合わせで次の4通りに分類される。

- ① オープンセミキルドタイプ…………… 出鋼時Fe-Mnのみ鋼に添加しDHにてC脱酸のみ行わないSi, Al等による強制脱酸は行なわない。
- ② オープンキルドタイプ…………… 出鋼時Fe-Mnのみ鋼に添加しDHにてC脱酸後Si, Al等で強制脱酸する。
- ③ 完全キルドタイプ…………… 出鋼時Fe-Mn, Fe-Siと大部分のAlを鋼に添加し残りのAlをDH処理中追加する。
- ④ ハーフキルドタイプ…………… オープンタイプと完全キルドタイプの間で出鋼時Fe-Mn, Fe-Siおよび一部のAlを鋼に添加しDHにてAlで強制脱酸する。

これらの脱酸方式に応じて脱ガス処理中のOの挙動をFig-3に示す。

これらの酸素の内容を説明すると、①、②の場合脱ガス処理前のOはその時のCに支配されており、したがってOはほとんどFree Oの形で存在し脱ガス処理中の脱酸はC脱酸にて行われる。これに反し③では処理前のOはAl脱酸され、OはほとんどがAl₂O₃の形で存在し、DHでは溶鋼の攪拌により介在物が分離除去されて脱酸が進行する。特に脱ガス処理前期はクラスター状のAl₂O₃が観察され、脱酸速度も大きい。④の場合には鋼に添加したSi, Alの脱酸効果により脱ガス処理前のOは①、②より低くなる。脱ガス初期にはMnO-SiO₂系介在物が見られるが、脱酸速度が①、②と同じであることからfree Oも共存し、脱酸は主にC脱酸により進行していると考えられる。また②と④はC脱酸後Alにて強制脱酸を行っているが、その時③のようなクラスター状の介在物は見られず単独のAl₂O₃であり、Oの著しい低下も見られない。

以上4タイプの最終Oレベルは脱ガス処理前のOレベルに支配されており処理前Oが高ければ最終Oも高くなる⁵⁾。さらに③の場合には処理後半に再酸化が現われる場合がある。これらの理由は脱酸メカニズムの違いだけからでは説明できず系外からOの供給があると考えられる。DHスラグの酸素ポテンシャルは転炉の吹止めCが低くなれば高くなることは当然であるが、さらに炉前脱酸法の違いで酸素ポテンシャルが変化し、③の場合が最も低く、①、②の場合が最も高い。そして③の再酸化現象はAl脱酸が強化されていてもSi, Mnの添加量が少ない場合のヒートに起りやすい。

以上のようにDHスラグの酸素ポテンシャルは脱酸過程に大きな影響を有している。

IV DH脱ガスした鋼の内質について

前に述べた2つの脱酸メカニズム(C脱酸、強制脱酸)および各脱酸方式が実際にどのように応用されて成品の内質改善に役立っているかを示すために、まずC脱酸を応用した例として電綫管用の鋼種を選び、脱ガス処理中追加した脱酸剤が鋼の内質にどのように影響するかを造管時の超音波欠陥の発生率で調べた。次に強制脱酸を応用した例としてボイラー用管材のキルド鋼を選び各脱酸タイプの違いが生成される介在物の量および形態にどのように影響するかを地疵成績によって調べた。

i) 電綫管用脱ガスセミキルド鋼

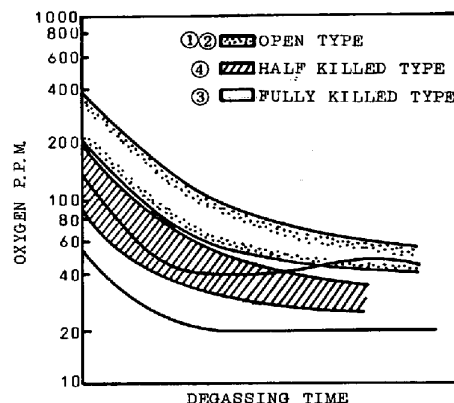


Fig-3 種々の脱酸方式での酸素の挙動

合金成分としてMnのみ添加し、DHにてC脱酸のみを行い、Al, Siなどの脱酸剤を全く使用しない場合、最終Oは約50ppmとなる。これをオープン鑄型に鑄込むとSi, Alなどを含まないため大気中酸素のピックアップが大きく、リムドタイプとなる。それを防止するためキャップド鑄型に鑄込むか、あるいはDHにて0.12Kg/tonのAlを添加すればセミキルドタイプおよびキルドタイプの鋼塊となる。各タイプの6tonパイロットインゴットの縦割りをPhoto-1に示す。これらのうちセミキルドタイプ、キルドタイプのものを電綫管用素材に選び、スラブ内のO分布を比較したものがFig-4である。

0.12Kg/tonのAlを使用した場合、鋼塊底部にはOが偏析するが、Alを全く使用しないものは鋼塊全体にわたり均一なO分布となる。このスラブを圧延し電綫管に造管し超音波欠陥の発生率を比較するとAlをわずかに添加した場合でもAl₂O₃系介在物が超音波不良の原因となることがわかった。それゆえ真空脱ガス処理で、C脱酸のみで製造することによりAl₂O₃による欠陥を著しく減少させることが可能である。

ii) 管材用キルド鋼の地疵コントロール

管材用のヒートは前述の②のオープンタイプ、③の完全キルドタイプ、④のハーフキルドタイプで脱ガス処理し、6tonの下広鑄型に鑄込まれる。鋼塊は200mmφのピレットに圧延し、鋼塊の頭部、中央部、底部に対応する位置から段削検査用試料を採取し、4段削して地疵検査を行う。地疵の数とそれぞれの長さより地疵総長さを求め、検査面の数12で割り l とし、基準長さ l_0 でノーマライズした値 l/l_0 を地疵指数とし、以下この値で評価する。

従来の非脱ガス材の地疵について我々が調べた結果では地疵指数は型内Oが高いほど悪くなるという結論を得ている⁶⁾。そこで脱ガス処理鋼を各脱酸タイプ別に、型内Oと地疵指数との関係を調べたところFig-5に示すように、②と③の脱酸タイプでは型内Oに対し正の相関を示すが、④の脱酸タイプは全く逆の相関を示す。これは地疵指数が量的因子(型内O量)に支配されているほかに質的因子(介在物組成)にも支配されているために生ずる現象である。Fig-5中に各番号で示した位置のピレット中の介在物を調べてみると表-1に示すように②および③の脱酸タイプでは l/l_0 が1, 2, 3に表すように一定組

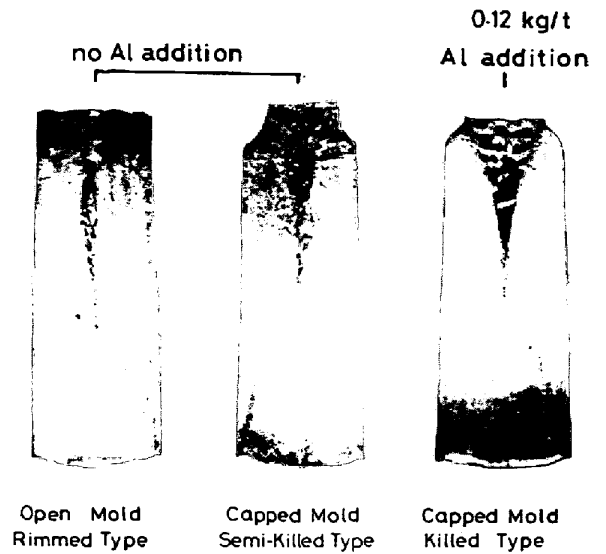


Photo-1 縦割り鋼塊の比較

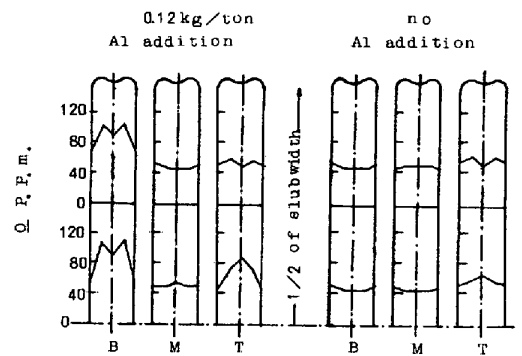


Fig-4 スラブ中のO分布の比較

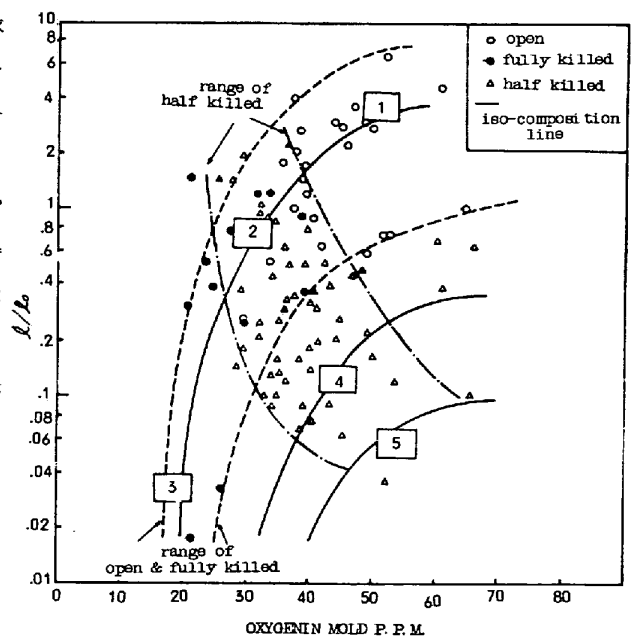


Fig-5 型内Oと地疵指数の関係

成の Al_2O_3 であり、それゆえ地疵指数は型内 \bar{O} のみの関数となる。しかし④の脱酸タイプでは \bar{O} 2, 4, 5 に示されるようにおのおのの介在物組成が異なり、 \bar{O} 2 から \bar{O} 5 へ移るにしたがい介在物は Al_2O_3 から $MnO-SiO_2$ 系へと組成が変化するため地疵指数に対して型内 \bar{O} は見かけ上のファクターとなり、実質的には介在物組成に支配されていると考えられる。それゆえ介在物組成が一定であるならば、地疵指数は型内 \bar{O} のみに依存し、その時の \bar{O} に対する地疵指数の関係は Fig-5 の等組成曲線となる。

次に地疵指数と DH にて Al を添加した後の脱ガス処理時間との関係を調べてみると②と④の脱酸タイプの場合には地疵指数はサイクル数の増加とともに指数関数的に減少しまたその勾配もほぼ一致していることから、等組成 (Al_2O_3) の介在物が処理時間とともに減少してゆくことを表わしているが、④の脱酸タイプの場合にはその関係が弱い。これは時間の経過とともに介在物が減少することのほかに、減圧下での還元反応により介在物組成が変化するための 2 つが考えられる。

以上から地疵成績は介在物組成と量 (\bar{O} 量) に支配され、これらが脱ガス処理における脱酸パターンによりコントロールされることが明らかとなったわけである。そして、たとえば③の脱酸タイプで脱ガス処理した鋼と従来の非脱ガス処理鋼のピレット内の地疵分布を比較したところ、Fig-6 に示すように脱ガス処理材は底部中央の地疵が大巾に改善されることがわかる。これは前節のセミキルド鋼と同様に介在物組成が Al_2O_3 から $MnO-SiO_2$ 系へ変化したため、底部中央に \bar{O} が偏析することが軽減されるためである。

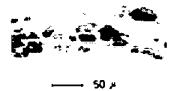
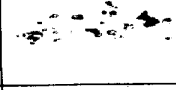
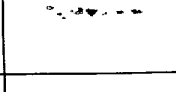
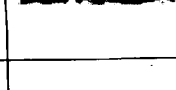

V 結 言

真空脱ガス処理において \bar{O} 脱酸、強制脱酸を組み合わせることで、酸素量、介在物組成をコントロールすることが可能となる。それゆえ成品に応じて最適な真空脱ガス処理のパターンを選ぶことが重要である。

参考文献

- 1) G.J.M.Kinsman : J.I.S.I.(1969)Nov. p.1463
- 2) 大久保, 榊井: 鉄と鋼, 50(1964), p.1851
- 3) 浅野, 中野: 鉄と鋼, 57(1971), p.1943
- 4) E.Plöckinger: J.I.S.I.(1963) July p.576
- 5) 川崎製鉄: 昭和 43 年 4 月, 製鋼部会資料
- 6) 大久保, 榊井: 鋼管技報, 31(1964), p.1

Table 1
各脱酸タイプのピレット中介在物の比較

NO	TYPE OF INCLUSION	COMPOSITION	DEOXIDATION PATTERN
1		Al_2O_3	OPEN
2		Al_2O_3	O - F
3		Al_2O_3	FULLY KILLED
4		Al_2O_3 , SiO_2 , MnO	F - H
5		SiO_2 , MnO	HALF KILLED

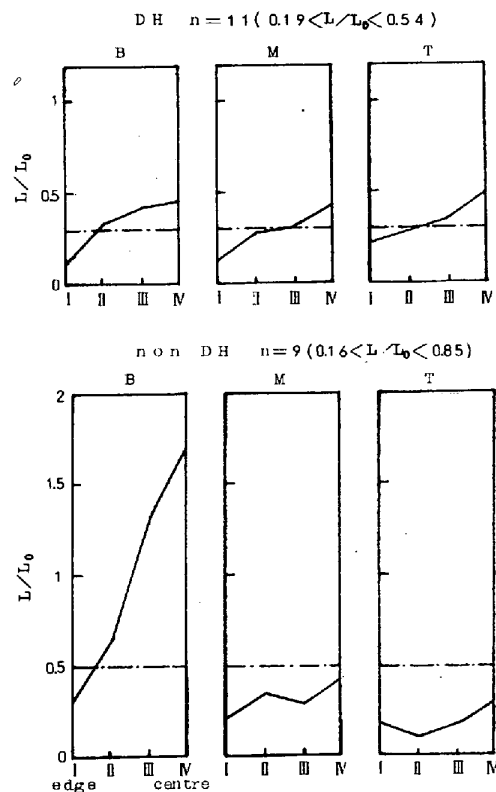


Fig-6 ピレット中地疵指数の分布の比較