

転炉レススラグ吹錬における マンガン鉱石の溶解および還元挙動

金子 敏行*・松崎 孝文*²

Dissolution and Reduction Behavior of Manganese Ore in Less Slag Blowing at BOF

Toshiyuki KANEKO and Takafumi MATSUZAKI

Synopsis : In order to improve the yield of Mn in less slag blowing at BOF, the dissolution and reduction behavior of manganese ore have been studied in 100kg scale test. The results obtained in this work are as follows.

- 1) Dissolution of manganese ore into BOF slag is quite easy at 1600°C, but it is not so easy at 1400°C because of the precipitation of solid MnO-FeO. So, it is hard to dissolve manganese ore in the first half of blowing at low temperature.
- 2) If the amount of manganese ore addition is small, manganese ore has remarkable effect on slagging of BOF slag. But, if its amount is more than that of BOF slag, the melting point of BOF slag becomes higher than 1450°C.
- 3) Reduction rate of manganese ore mainly depends on bath temperature, and higher temperature is desirable. On the other hand, the reduction rate is not affected by carbon content of steel in the range of $[C] \geq 1\%$.
- 4) From these results, in order to improve the yield of Mn, early slagging and keeping bath temperature as high as possible are very important.

Key words : steelmaking ; smelting reduction ; manganese ore ; converter ; less slag blowing ; slag.

1. 緒言

近年、溶銑予備処理技術の発展にともない、転炉における脱りん溶銑のレススラグ吹錬を利用したマンガン鉱石の溶融還元技術が盛んに開発され^{1)~7)}、従来Mn源として用いられていたフェロマンガンの大幅削減が可能になってきた。

このメリットを最大限に享受するためには、転炉内におけるマンガン鉱石の還元率を極力高める必要がある。そのためにはスラグ中の(MnO)濃度を確保するためのスラグボリューム低減と、Mn分配比を下げるためのスラグ塩基度の確保および(%T.Fe)の低減が重要である。しかしながら、これら平衡論的な条件が適正に整えられたとしても、吹錬時間は僅か15分足らずであり、しかも吹錬初期は低温であることから、必ずしも平衡に沿って反応が進行するわけではない。したがって、スラグ組成の検討にあわせて、例えばマンガン鉱石の溶解促進あるいはスラグの滓化など、速度論的な視点からの検討も同時に必要と考えられる。過去の研究では、スラグ組成の影響を中心とした解析は数多くなされている^{1)~8)}が、マンガン鉱石の溶解促進を狙った開発に関する報告は少ない⁵⁾⁶⁾⁸⁾。特に、マンガン鉱石のスラグへの溶解現象や、マンガン鉱石添加に伴うスラグの性状変化などに関する基礎的研究はほとんどなされていないのが

現状である⁹⁾。本研究では、転炉スラグへの(MnO)(マンガン鉱石)の溶解性と、転炉スラグにマンガン鉱石が大量投入された場合のスラグの性状変化について基礎的に検討した。あわせて、マンガン鉱石の還元反応におよぼす温度および[C]濃度の影響を調べた基礎実験の結果についても述べる。

2. 実験方法

2・1 転炉スラグへのマンガン鉱石溶解実験

レススラグ吹錬でマンガン鉱石を大量に投入した場合に、転炉スラグに(MnO)がどの程度溶解し得るかを明らかにする目的で、Fig. 1に示すタンマン炉を使った実験を行った。

すなわち、実機のレススラグ吹錬滓(吹止で採取)450gを電融マグネシアルツボ内で溶解し、その上から10mmアンダーのマンガン鉱石をその溶解状況を確認しながら少量ずつ添加して、所定の時間間隔でスラグサンプルを鉄棒に付着させて採取した。その間のスラグの性状変化および採取したサンプルの組成とミクロ組織の時間変化を調べた。実験温度は、吹錬の初期～中期に当たる1400°Cと吹錬末期に当たる1600°Cの2水準とした。なお、使用したマンガン鉱石と転炉スラグの組成をTable 1とTable 2に示す。鉱石中

平成4年6月5日受付 平成4年11月6日受理 (Received on June 5, 1992 ; Accepted on Nov. 6, 1992)

* 新日本製鉄(株)大分技術研究部 (Oita R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1 Oaza-Nishinosu Oita 870)

* 2 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp.)

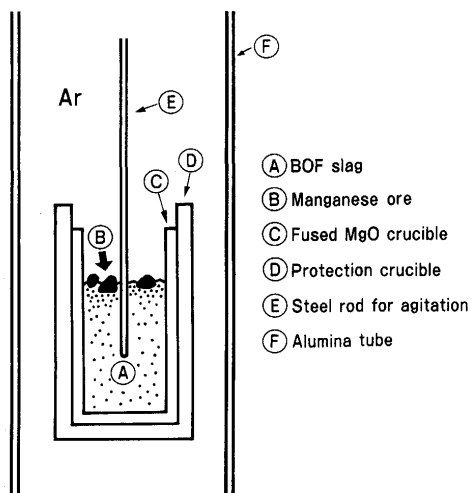


Fig. 1. Experimental apparatus for measurement of MnO solubility in BOF slag.

Table 1. Composition of manganese ore. (mass%)

T.Mn	T.Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	Active oxygen
49.19	3.71	5.68	3.65	0.18	0.13	0.105	0.003	13.49

Table 2. Composition of BOF slag. (mass%)

CaO	SiO ₂	T.Fe	MnO	MgO	P ₂ O ₅	S	CaO/SiO ₂
49.70	13.99	11.83	6.34	6.65	2.38	0.05	3.55

の活性酸素濃度は、JIS規格「マンガン鉱石中の活性酸素定量方法M8233、硫酸鉄(II)分解過マンガン酸カリウム滴定法」により分析した。

本法は、従来二酸化マンガン分析法と呼ばれ、マンガン鉱石中のMn酸化物に含まれる酸素のうちMnOより過剰に存在する酸素(活性酸素)からMnO₂を求める方法であったが、実際のMn鉱石にはMn₂O₃、Mn₃O₄が含まれ、上記仮定が不適当として、名称を活性酸素定量方法と改められたものである。

2・2 スラグの融点および軟化点におよぼすマンガン鉱石添加の影響

スラグにマンガン鉱石を添加した場合のスラグ性状がどのように変化するかを知るために、種々の比率で配合した実機レススラグ吹錬滓とマンガン鉱石の混合粉体試料を使って、軟化点および融点の測定を行った。測定方法は、スラグと鉱石を各々微粉に砕き、その混合粉体を径3.0mm、高さ3.5mmの円柱試料に成型して、電融マグネシアのプレート上にのせて、横型管状炉で1℃/minの昇温速度で加熱し、試料の形状変化を観察する方法を採用した。軟化点の定義は円柱の角が丸みを帯びた所とし、融点は試料が半球状になった時点とした。その一例をFig. 2に示すが、同一試料2個を同時に観察し、軟化点および融点を判断した。なお、マンガン鉱石の試料は、2・1と同一銘柄のものとした。

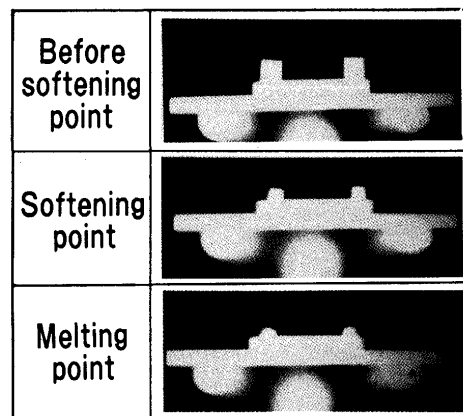


Fig. 2. Typical examples of softening and melting points.

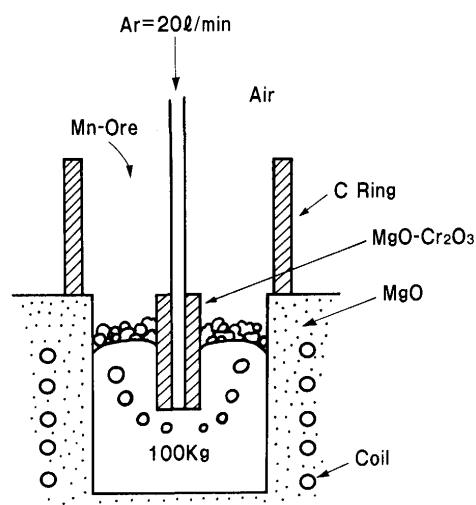


Fig. 3. Experimental apparatus for the test of manganese ore reduction.

2・3 高[C]溶鋼によるマンガン鉱石還元実験

実験にはFig. 3に示す100kg大気溶解炉を使用した。

溶鋼をArガスで攪拌しながらマンガン鉱石4kg(40kg/tに相当)を1分間隔で10分間連続投入して所定の時間間隔でメタルサンプルを採取し、マンガンの還元挙動を見た。

転炉吹錬中に最も変化が大きい溶鋼の温度と[C]濃度に着目し、それぞれを1400~1600℃および1.0~2.7%の範囲で変化させてそれらの影響を見た。なお、使用した鉱石はTable 1に示したものであり、そのサイズは10~25mmである。

3. 実験結果

3・1 転炉スラグへのマンガン鉱石溶解実験

吹錬末期を想定した1600℃における転炉スラグへのマンガン鉱石溶解挙動をFig. 4に示す。マンガン鉱石を添加すると、鉱石が砕け散りただちにスラグに溶解した。

投入初期は、マンガン鉱石を投入するにしたがいスラグの粘性がしだいに下がり流動状態が改善された。鉱石の投

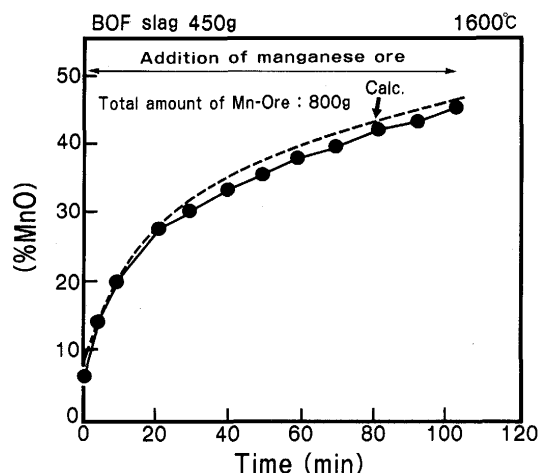


Fig. 4. Change of (MnO) content of slag during addition of manganese ore at 1600°C.

入量が初期のスラグ量に近くなると、粘性がやや増してきてフォーミング状態（マンガン鉱石の分解により発生する酸素ガスによると考えられる）となった。その後は、投入量の増加と共にスラグの粘性がさらに増し、フォーミングはおさまった。この時点でのマンガン鉱石の溶解速度は、投入初期に比べてやや低下する傾向が見られたが、全体的には鉱石のスラグへの溶解は、極めて容易であった。鉱石投入の総量は、初期スラグ量の約2倍にもおよんだが、最後まで未溶解部は全く認められず、スラグは均一な液状を保っていた。Fig. 4の図中に (MnO) の計算値を示しているが、実績の (MnO) は計算値とほぼ一致している。

Fig. 5は、吹錬初期から中期に相当する1400°Cでの結果である。1600°Cに比べてマンガン鉱石の溶解速度が遙かに遅く、1600°Cで見られたような投入時の鉱石の粉化もほとんど見られなかった。さらに、鉱石を投入した瞬間は、スラグの表面が冷却されて薄い膜を生成した。したがって、鉱石の投入は溶解を確認しながら行なったので、最終的な投入量は初期スラグ量とほぼ同量にとどまった。ただ、1400°C

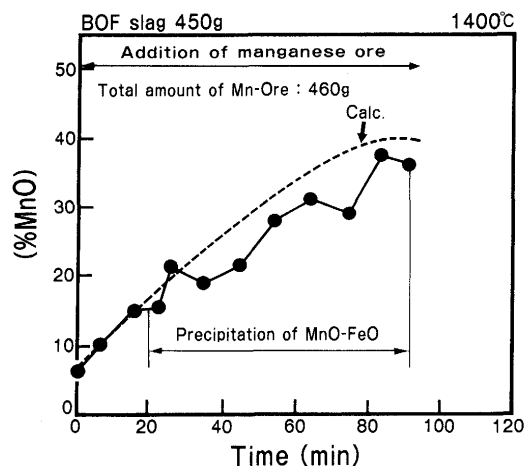


Fig. 5. Change of (MnO) content of slag during addition of manganese ore at 1400°C.

においても、1600°Cと同様、鉱石投入量が少ない初期の段階では、マンガン鉱石によるスラグの粘性の低下が明らかに認められた。しかしながら、鉱石投入量が初期スラグ量の約1/4に達した時点からルツボの底に固相の塊が沈澱を始め、その量が鉱石投入量が増えるにつれて増加した。一方、その際の残液部は初期のスラグよりむしろ低粘性で良く溶けていた。Fig. 5の図中に (MnO) の計算値を併記しているが、固相が沈澱し始めた付近から、均一溶解を仮定した計算値より実績値の方が低い値で推移しており、溶解が容易でないことを示している。

3・2 スラグの融点および軟化点におよぼすマンガン鉱石添加の影響

転炉スラグとマンガン鉱石の配合比を種々変えて、融点および軟化点を測定した結果をFig. 6に示す。マンガン鉱石と転炉スラグの重量比が0.25まではマンガン鉱石を配合するほど試料の融点が大幅に低下しており、マンガン鉱石添加によるスラグの滓化促進が認められたが、0.25を超えると逆にマンガン鉱石の配合量の増加と共に融点が高くなった。マンガン鉱石と転炉スラグの配合比が1.0での融点は1450°Cであり、1.5では1500°Cを超える高い温度となっており、転炉でのマンガン鉱石大量投入時における滓化困難を示唆している。軟化点についても、融点とほぼ同じ傾向が認められた。なお、図中に併記しているように、マンガン鉱石自身の鉱石融点は1578°Cの高温であった。

3・3 高[C]溶鋼によるマンガン鉱石還元実験

3・3・1 マンガン鉱石還元反応におよぼす温度の影響

Fig. 7に、[C]の初期濃度を2.6~2.7%のほぼ一定に保ち、温度を1400°C、1500°C、1600°Cの3水準に変化させた場合のマンガン鉱石の還元挙動を示している。まず、1400°Cの低温条件では、鉱石投入中に溶鋼中の[Mn]が激しく酸化されており、投入終了直後で[Mn]は初期濃度の1/3まで減少している。また、鉱石投入後の還元速度は極めて遅く、処理終了時の30分時点でも初期[Mn]濃度まで回復していない。次に、1500°Cでは、1400°Cと同様鉱石投入中に[Mn]

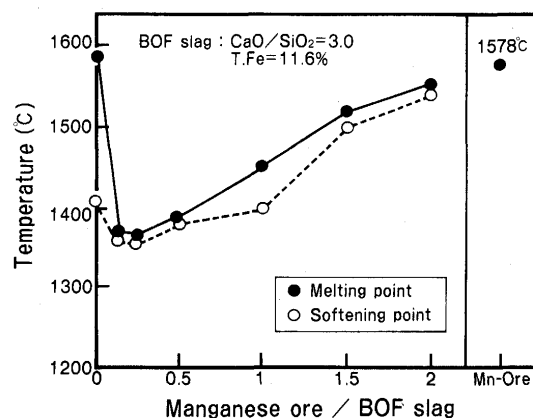


Fig. 6. Effect of manganese ore addition on softening and melting points of BOF slag.

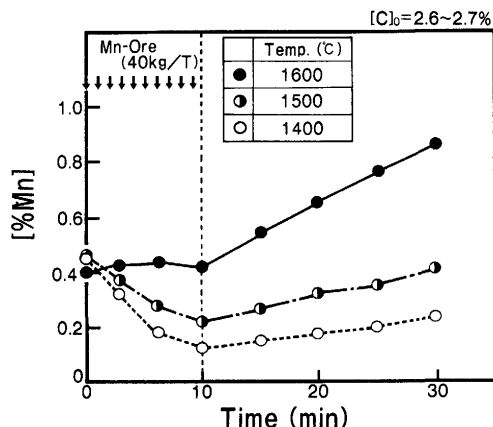


Fig. 7. Effect of temperature on the reduction rate of (MnO).

の酸化が起こっているが、その酸化量は少なくなっており、投入終了直後の $[Mn]$ は初期濃度の1/2になっている。鉱石投入後の還元速度は1400°Cより僅かに速くなっているものの依然遅く、処理終了時点でも初期濃度まで回復できていない。一方、1600°Cでは、鉱石投入中の $[Mn]$ 酸化は認められず、むしろ僅かに還元している。さらに、鉱石投入後の還元速度が1400°Cおよび1500°Cに比べて大幅に増大しており、最終 $[Mn]$ 濃度は初期濃度の2倍以上にも達している。また、スラグの滓化状態は、1400°Cでは極めて悪く、液相率が低いものであったが、1600°Cでは完全に溶融していた。

以上の結果をまとめて、マンガン鉱石投入中の $[Mn]$ 酸化量と投入後の還元速度に対する温度の影響を整理すると、Fig. 8のようになる。図から分かるように、マンガン鉱石の還元促進の観点からは、鉱石添加中に $[Mn]$ の酸化を伴い、しかもその後の還元速度を確保しにくい低温条件は好ましくなく、いずれの点からも有利な高温条件を利用すべきことが分かる。

3.3.2 マンガン鉱石還元反応におよぼす $[C]$ の影響

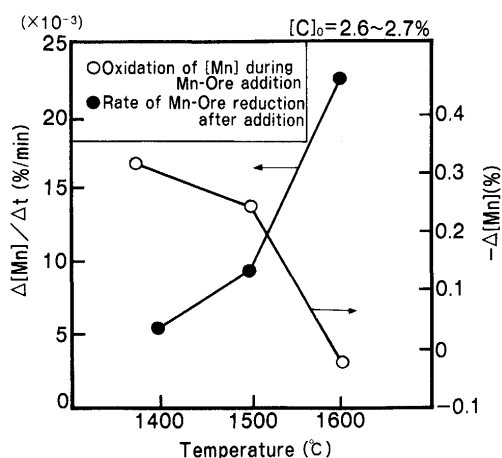


Fig. 8. Influence of temperature on the oxidation of $[Mn]$ and on the rate of (MnO) reduction during and after addition of manganese ore.

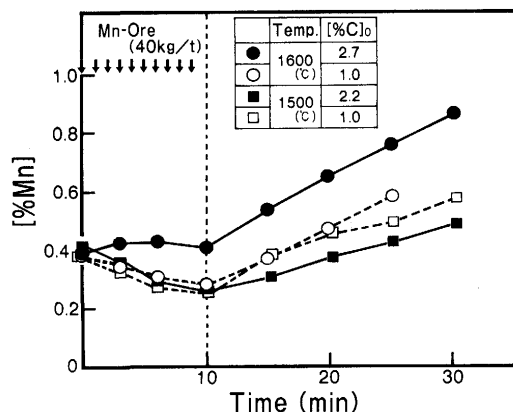


Fig. 9. Effect of carbon content of steel on the reduction rate of (MnO).

1500°Cと1600°Cで $[C]$ 濃度の影響を調べた結果をFig. 9に示す。初期 $[C]$ 濃度を2.2~2.7%と1.0%の2水準で実験を行ったが、1600°Cで鉱石投入中の $[Mn]$ 酸化量が $[C]$ が高い方がやや少なくなっている(高 $[C]$ であるため、 $[C]$ が優先的に酸化された結果と考えられる)こと以外は、 $[C]$ 濃度の影響は小さい。すなわち、鉱石投入後の還元速度は、1500°Cと1600°Cのいずれも $[C]$ 濃度によってほとんど差が認められなかった。また、1500°Cでは、鉱石投入中の $[Mn]$ 酸化挙動についても差が認められなかった。

4. 考察

4.1 転炉スラグへのマンガン鉱石の溶解挙動

Fig. 4に示したように、1600°Cの高温条件ではマンガン鉱石の転炉スラグへの溶解は極めて容易で、(MnO)が45%まで晶出物は全く認められず、完全液相状態であった。一方、1400°Cでは、マンガン鉱石投入量が少ない場合はスラグの滓化を促進したが、投入量がスラグ量の1/4以上になると固相の沈澱が認められた。この間のスラグ(徐冷サンプル)の鉱物組成の変化をFig. 10に示す。いずれの時点のスラグも、暗灰色と明灰色の2相に分かれているが、その形態と組成がマンガン鉱石の添加量により異なっている。マンガン鉱石添加前の転炉スラグおよび固相晶出直前の100g添加時点でのスラグでは、明灰色の相からなるマトリクスの中に丸みを帯びた暗灰色の相が晶出している。ところが、マンガン鉱石を360g添加した時点、すなわち多量の沈澱物が晶出した時点では、逆に暗灰色相がマトリクスとなり、その中に角張った明灰色相が晶出している。そこで、それぞれの2つの相の組成をEPMAで分析した。その結果をTable 3に示す。転炉スラグとマンガン鉱石100g投入時に見られる明灰色の相は、 $CaO-Fe_2O_3-MnO$ で、この中に暗灰色の $CaO-SiO_2-P_2O_5$ 相が晶出した形となっており、マンガン鉱石の投入により明灰色相の MnO 濃度が高くなっていることが分かる。一方固相が晶出した鉱石360g投入時点では暗灰色相

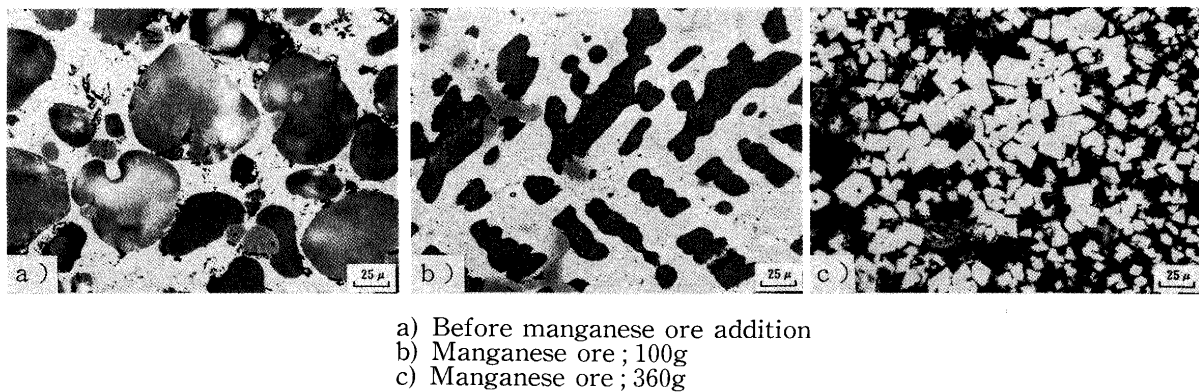


Fig. 10. Change of microstructure of slag during manganese ore addition.

Table 3. Composition of each phase of slag analyzed by EPMA.

Amount of Mn-Ore	Colour of phase	(mass%)					
		CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	P ₂ O ₅
0g Before addition	Dark gray	54.6	24.8	0	0	0.4	4.0
	Light gray	39.0	0	35.5	1.9	0.9	0.2
100g	Dark gray	53.6	25.9	0	0	0.4	4.0
	Light gray	29.8	0	34.8	16.6	2.9	0
360g	Dark gray	31.2	30.3	0	5.1	1.0	0.7
	Light gray	0	0	29.2	58.1	6.3	0

はCaO-SiO₂-MnO (-P₂O₅)であり このマトリクスの中に明灰色のMnOとFe₂O₃が主成分のMnO-Fe₂O₃-(MgO)相が晶出している。マンガン鉱石の投入量が少ない場合はMnOは常にCaOと共存するが、投入量が増えてくるとCaO-Fe₂O₃-MnO相中のMnO濃度が増えると同時にCaOを排出しているようである。

CaO-MnO系の状態図に関する正確な情報が無いため、状態図に基づく議論が十分に出来ないが、MnO-FeOが全率固溶体であること、さらにはMnOとFeOを含む3元状態図でMnOとFeOは広い範囲で固溶体を作ることから、マンガン鉱石を多量に添加することにより固溶体であるManganowustiteが晶出したものと考えられる。実験終了後、炉内冷却したルツボ内からルツボ上部および固相が沈殿したルツボ底部のスラグを採取し、化学分析を行って、平均組成の違いを見た。その結果をFig. 11に示す。ルツボ底部の(MnO)は、上部の約2倍になっている。また、CaO/SiO₂はルツボの位置にかかわらず一定であることから、MnO濃度の高い晶出物がルツボの底に溜まったことを示している。さらに、沈殿部のスラグの鉱物組織および各相の組成を調べると、Fig. 10で見られた角張ったMnO-Fe₂O₃相が多量に観察された。

以上の溶解実験の結果より、転炉吹錬の初期から中期にかけての低温条件ではマンガン鉱石のスラグへの溶解速度が遅く、たとえスラグと融合しても固相の中にMn分をロスしてしまう。すなわち、低温条件では(MnO)の溶解度自身に限界があり、鉱石の全てを溶解することは不可能である。

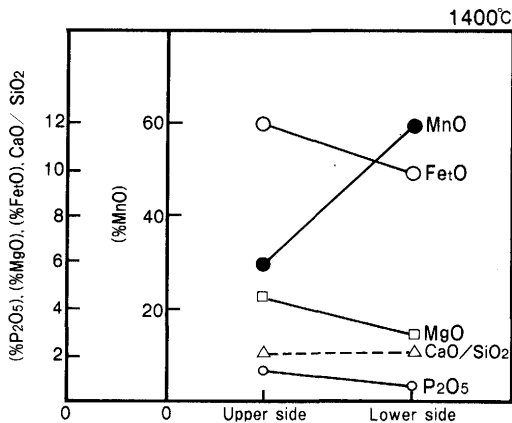


Fig. 11. Comparison of slag composition between upper side and lower side of crucible.

したがって、吹錬は極力温度を確保するように制御するか、あるいはCaF₂などのスラグ滓化促進剤¹⁰⁾を活用することが有効である。

4・2 融点測定結果に基づく吹錬中のスラグ滓化に関する考察

Fig. 6に示したように、マンガン鉱石の添加量が少ない場合はマンガン鉱石はスラグの滓化に有効であるが、マンガン鉱石添加量とスラグ量の比が0.25を超えると逆にスラグの融点が高くなり、鉱石量がスラグ量を大きく超えると1500℃以上の吹錬後半の温度でなければ溶けないスラグとなる。この結果は、前述の1400℃でのマンガン鉱石のスラグへの溶解実験で、投入量が少ない場合はスラグが良く溶け、投入量がスラグの約1/4 (重量比0.25) の時点から沈殿物の生成が見られたことと良く一致している。また、この結果は、実機操業で脱りんのための滓化促進を目的にマンガン鉱石を少量添加する場合があることと対応している¹¹⁾。ところで、Fig. 6の知見から、レススラグ吹錬でマンガン鉱石を30kg/t添加した場合のスラグの軟化点および融点を推定すると、転炉スラグ量が40kg/t程度であることから、軟化点が1390℃、融点が1420℃となる。これとほぼ同条件で吹錬した場合の吹錬中の温度と[Mn]の関係をFig. 12に示しているが、吹錬初期では[Mn]の還元は起こらずに、浴温が1400℃付近

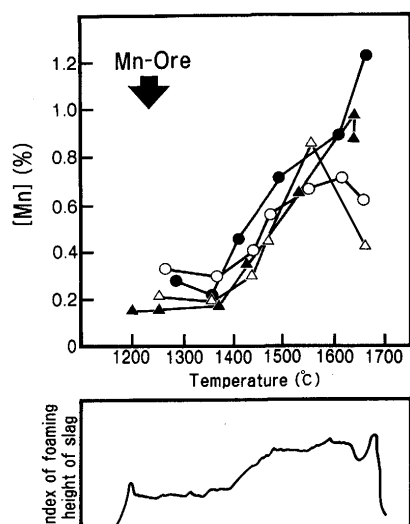


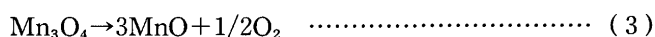
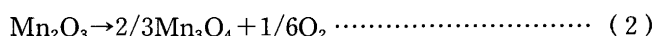
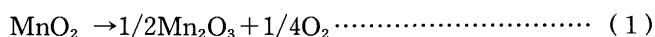
Fig. 12. Change of manganese content of steel and slag height during blowing.

から急激に上昇している。軟化点が液相の生成開始点に相当し、融点がほぼ完全液相状態であることを考慮すると、Fig. 12の結果はスラグの滓化挙動でよく説明できる。すなわち、マンガン鉱石が添加されたスラグが溶けると同時に(MnO)の還元反応が急激に進行したと理解することができる。また、Fig. 12中に、同一条件の吹錬でサウンドメーターによりスラグの滓化状況を測定した代表例を示している。図から分かるように、滓化によるスラグフォーミングの高さが1400°C付近から急激に増大しており、上述の解釈を裏付けている。以上の解析からも、マンガン鉱石を大量に投入する場合は、還元歩留りの向上を狙う上でスラグの軟化点あるいは融点を下げる対策が極めて重要であることが分かる。

4・3 マンガン鉱石還元反応におよぼす諸要因の影響

4・3・1 マンガン鉱石中の活性酸素の影響

本実験で使用したマンガン鉱石中のMn-Oxideの形態はX線回折により MnO_2 であることが判明した。 Mn_2O_3 、 Mn_3O_4 については微量であるためと推定されるが、明瞭な回折パターンは認められなかった。 MnO_2 が溶鋼に添加されると、(1)式から(3)式に示すように3段階でMn-Oxideが解離する。



田中¹²⁾は、 MnO_2 の試薬を用いて空気中における上記解離反応挙動を調べており、(1)式は500～560°Cで起こり、(2)は900～980°Cで起こることを報告している。(3)については、高温のため測定値はないが、自由エネルギー計算により約1500°Cで起こると推定している。

したがって、 MnO_2 が主成分のマンガン鉱石が溶鋼に添加

されると、溶鋼により加熱されて上記解離反応が起こり、放出された酸素ガスが溶鋼を酸化するものと考えられる。

前述したように、この分解酸素による鋼中[Mn]の酸化は低温の方が顕著に現れるが、これは低温ほど[Mn]が[C]に対して優先的に酸化されるためである。したがって、高温ほど有利になるが、実操業においては、還元のための時間を確保する必要があるため、その条件を満たす範囲内で投入時期を極力遅らせる操業が望ましいと思われる。また、マンガン鉱石の事前処理として、1000°C以上に加熱すれば、(1)式および(2)式により発生する酸素ガスが除去され、酸化を確実に低減できるであろう。

4・3・2 (MnO)の還元速度におよぼす温度および[C]の影響

転炉内におけるマンガン鉱石の還元反応は、(4)式で進行するものと考えられる。

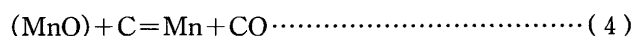


Fig. 9に示したように、(MnO)の還元速度は、[C]が1%以上の範囲で[C]にはほとんど影響を受けず、温度によって大きく変化した。[C]を含有した溶鉄によるスラグ中(MnO)の還元速度に関しては、篠崎らの研究がある¹³⁾。かれらは約5%の(MnO)を含む $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系スラグと0.9～5.6%の[C]を含む溶鉄とを反応させて(MnO)の還元速度におよぼす種々の要因の影響を調べており、(MnO)の還元速度がスラグ中の(MnO)の拡散律速としてうまく説明できることを示している。本実験で生成したスラグは固液共存で高粘性の性状を呈しており、篠崎らの実験よりさらにスラグ中の拡散が律速になりやすい条件にあること、また還元速度が[C]によらずほぼ一定であったことを考慮すると、本実験においても(MnO)の拡散律速と考えられる。温度の影響については、高温ほど拡散が促進されかつMn分配も有利となりドライビングフォースが増大することから、その影響が大きく現れたものと思われる。

特に、前述したように温度によってスラグの滓化が大きく変化したことから、平衡条件よりむしろ滓化の影響が大きいものと推定される。したがって、[Mn]の再酸化が回避可能な $[\text{C}] \geq 0.10$ の領域⁷⁾では[C]の値にかかわらず吹錬全体を通じて浴温を極力高位に維持すると共に、早期滓化のための対策を講じることが重要と考えられる。

5. 結言

転炉レススラグ吹錬でマンガン鉱石の溶融還元を行う際のマンガン鉱石の溶解挙動および還元反応におよぼす諸要因の影響を明らかにするための基礎実験を実施し、以下の知見を得た。

1) 転炉スラグへのマンガン鉱石の溶解は、吹錬末期に相当する1600°Cでは極めて容易であるが、吹錬初期から中期に相当する1400°Cでは溶解速度が遅く、鉱石添加量がスラ

グ量の1/4を超えると高MnO組成の $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$ が晶出し、溶け残りが生ずる。

2) マンガン鉱石は添加量が少なければ転炉スラグの滓化を著しく促進するが、添加量がスラグ量を超えると吹錬後半でなければ溶けない 1450°C 以上の高融点スラグを形成する。

3) 上記結果より、レススラグ吹錬でマンガン鉱石を多量に投入して溶融還元する場合は、吹錬初期から中期の比較的低温でのマンガン鉱石の溶解促進、すなわち早期滓化のための対策が必要である。

4) マンガン鉱石の還元反応速度は、温度により大きな影響を受け、高温ほど鉱石投入時の鉱石中酸素(MnO_2 の分解酸素)による $[\text{Mn}]$ の酸化が軽減し、かつ投入後の(MnO)の還元速度が増大する。

5) 一方、マンガン鉱石の還元反応速度におよぼす $[\text{C}]$ 濃度の影響は、 $[\text{C}] \geq 1\%$ の範囲では極めて小さい。

6) 以上の結果より、マンガン鉱石の還元歩留りを向上するには、早期滓化を図り吹錬全体を通じて浴温を極力高位に維持するよう制御すべきである。また、鉱石投入時期は、還元に必要な時間を確保することを前提に、なるべく高温

側に遅らせるのが望ましいと考えられる。

文 献

- 1) 山瀬 治, 池田正文, 福味純一, 滝 千尋, 山田健三, 岩崎克博: 鉄と鋼, **74** (1988), p.270
- 2) 松尾 亨, 深川 信, 池田隆果: 鉄と鋼, **76** (1990), p.1831
- 3) 川崎正蔵, 平橋英行, 青木松秀, 羽鹿公則, 船岡洋一: 鉄と鋼, **76** (1990), p.1900
- 4) 安井 潔, 竹岡正夫, 宮島正和: 鉄と鋼, **76** (1990), p.1908
- 5) 野村 寛, 馬田 一, 田岡啓造, 山田純夫, 朝穂隆一, 江本寛治: 川崎製鉄技報, **18** (1986), p.14
- 6) 金子敏行, 片上幹史, 長田修次, 竹村洋三: 鉄と鋼, **73** (1987), S1011
- 7) 稲葉東實, 高本 久, 殿村重彰, 遠藤公一, 田淵 敏, 米沢公敏: 鉄と鋼, **73** (1987), S1012
- 8) 吉田克磨, 山崎 勲, 田中雅章, 青木伸秀, 渡辺吉夫: 鉄と鋼, **73** (1987), S1013
- 9) 内田 晋, 月橋文孝, 佐野信雄: 鉄と鋼, **77** (1991), p.490
- 10) P.N.Smith and M.W.Davies: Trans.Inst.Mining Met., Sec.C, **80** (1971), p.87
- 11) 塩飽 潔, 川崎正蔵, 神森章光, 青木松秀, 羽鹿公則: 鉄と鋼, **73** (1987), p.1567
- 12) 田中章彦: 学位論文, マンガン系合金鉄の製錬に関する物理学的研究, p.6
- 13) 篠崎信也, 石堂嘉一郎, 森 克巳, 川合保治: 鉄と鋼, **70** (1984), p.73