

論 文

溶鉄の Ca 脱酸について*

宮下 芳雄**・西川 勝彦**

The Deoxidation of Liquid Iron with Calcium

Yoshio MIYASHITA and Katsuhiko NISHIKAWA

Synopsis:

An investigation was made to clarify the basic feature of deoxidation of liquid iron with calcium. In the experiment, calcium metal was added to the bottom part of liquid iron using a silica tube which was inserted into the liquid iron.

The addition of calcium metal in this way gave the high concentration of calcium in the melt and the rapid decrease of oxygen concentration.

The results obtained are as follows:

(1) The concentration of calcium dissolved in the liquid iron is estimated to be at least 0.0103 weight percent at the temperature of 1600°C and in the atmosphere of 1 atm.

(2) The reaction $\text{Ca} + \text{O} = \text{CaO}$ proceeds immediately after the addition of calcium and calcium has been proved to be a very powerful deoxidizer having $K'_{\text{Ca}} = [\% \text{Ca}] [\% \text{O}]$ at 1600°C.

(3) When a small amount of calcium is added to the liquid iron in which primary deoxidation products such as SiO_2 or Al_2O_3 are suspended, the concentration of oxygen decreases very rapidly to the equilibrium value calculated from the concentration of deoxidizer.

(Received Feb. 25, 1971)

1. 緒 言

鋼の清浄度は脱酸剤，あるいは脱酸の方法によつて著しい影響をうける。現在，溶鋼の脱酸は Mn, Si, Al などの脱酸剤を出鋼時の溶鋼に添加することによつて行なわれているが，最終脱酸剤として Ca 合金を用いると，非金属介在物の形態や組成が変化し，かつよく脱酸された鋼が得られるという報告が古くからなされてきた^{1)~3)}。また最近においても，IYENGER ら⁴⁾，渡辺ら⁵⁾，小林ら⁶⁾は小型炉を用いて Ca 脱酸に関する研究を行なつて

いる。Ca は O との親和力がきわめて強いというすぐれた化学的性質を有しているが，製鋼温度における蒸気圧は高く，溶鋼の表面に添加したのでは溶鋼中の O に対してほとんど作用することなく蒸発してしまうため，脱酸剤としての効果が認められない場合が多い。そのため溶鉄の Ca 脱酸に関する基本的な性質については必ずしも統一

的な見解は得られていない。溶鉄中における Ca の溶解度についても従来不明確であつたが，最近になつて SPONSELLER ら⁷⁾は液相の Ca を 1600°C で平衡状態に保つことにより，0.032% の Ca

が溶鉄中に溶解するという実験結果を報告した。本研究では，SPONSELLER らの実験結果を参考にして，できるだけ多くの Ca を溶鉄中に残留させる方法についていろいろ検討してきた結果，Ar ガスを流しながら溶鉄中に挿入された耐火物パイプを通じて，Ca を少しずつしかも連続的に溶鉄の底部に添加した場合，かなりの Ca 量が溶鉄中に残留し，しかも溶鉄中の O は Ca 添加直後に急速に減少するという事を見いだしたので，この方法により Ca を溶鉄中に添加した場合の Ca 脱酸について検討を試みた。

2. 実験方法

400 kC 高周波炉を用い，Ar ガス雰囲気中ですべての溶解を行なつた。るつぼとしては内径 53 mm の MgO または Al_2O_3 るつぼを用い，各実験とも電解鉄 (C < 0.003%, Mn, Si, Al < 0.005%) 1 kg を溶解した。Pt-PtRh (Rh = 13%) 熱電対を用いて，溶鉄の温度を測定し， $1600 \pm 10^\circ\text{C}$ の温度ですべての実験を行なつた。脱酸剤として，Si には金属 Si (Si = 98.4%, Fe = 0.6) を，Al

* 昭和46年2月25日受付

** 日本鋼管(株)技術研究所

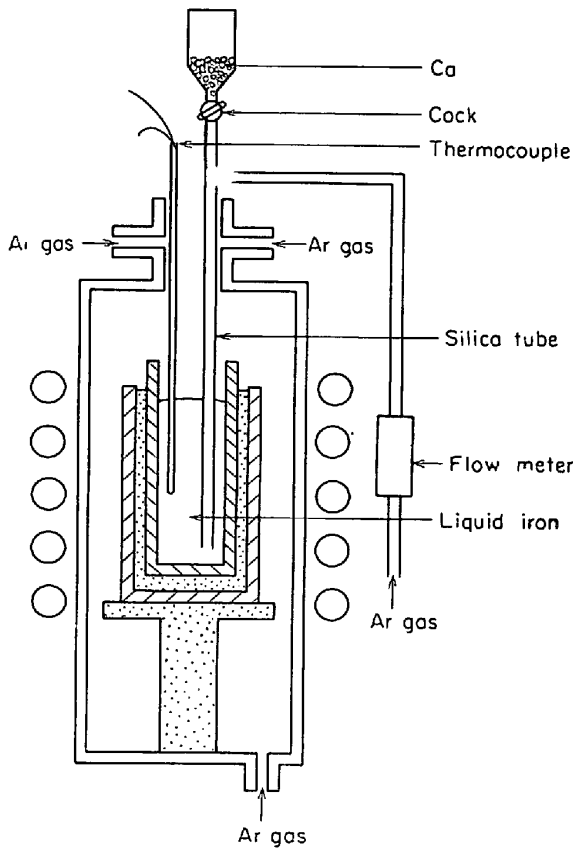


Fig. 1. Schematic diagram of experimental equipment.

には Fe-Al 合金 (Fe=50%, Al=50%) を使用した。また Ca には直径 1 mm 程度の微細な金属 Ca 粒 (Ca=99%) を用いた。

溶鉄への Ca の添加については、Fig. 1 に示すように内径 5 mm の石英管をるつぼの底面近くまで挿入し、Ar ガスを 0.2~0.3 l/min の割合で流しながら Ca を自然落下させることにより溶鉄中に添加した。この場合 Ca を少しずつしかも連続的に添加したため、1 g の Ca を添加するのに通常 20~30 sec ほど要した。溶鉄へ Ca を添加する時期としては Si あるいは Al にて予備脱酸した後に添加する場合、または予備脱酸なしに Ca のみを添加する場合について実験した。

各種分析用の試料として、所定の時刻に内径 5 mm の石英管を溶鉄中に浸してすいあげ採取した後、水中で急冷した。O の分析は真空溶融法によつたが、特に O 濃度の低い試料については真空溶融定容積測圧法により分析した。Si, Al の分析には比色法を用い、Ca の分析については吸光光度法、溶液分光法、直接分光法などによつていろいろ検討した結果、Ca が 0.001~0.020% の範囲においては直接分光法にて問題なく分析できることを確認できたため、その後は直接分光法によつた。非金属介

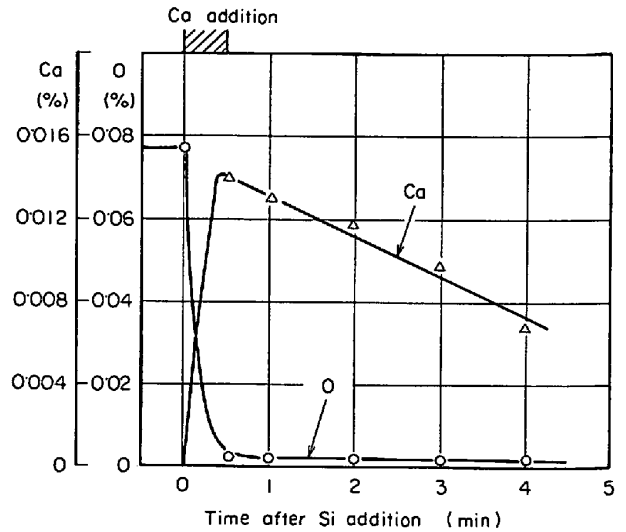


Fig. 2. Change of O content after the addition of Ca.

在物の観察のためには各試料を十分エメリーペーパーで研磨した後、ダイヤモンド研磨で仕上げ、補足的に酸化クロム研磨を行なつた。研磨面の介在物を光学顕微鏡で詳細に観察し、代表的な介在物については XMA により組成を分析した。

3. 実験結果

3.1 Ca による単独脱酸

0.077% の O を含む溶鉄に 1% の Ca を添加した場合の Ca, O の挙動を Fig. 2 に示す。これよりわかるように、溶鉄中の Ca 濃度は Ca 添加直後に 0.014% とかなり高い値を示し、時間の経過とともに徐々に減少している。また溶鉄中の O 濃度は Ca の添加により一挙に 0.0018% にまで減少し、その後は時間の経過にもかかわらずほぼ一定の値を示している。また Ca を添加した後の試料中には介在物は非常に少なくなっており、CaO などの介在物を観察することはできなかつた。

このように、O を多量に含む溶鉄中に Ca を添加した場合、溶鉄中の O 濃度はかなり減少し、しかもその減少は Ca を溶鉄中に添加しているかなり短い時間のうちに行なわれている。

この場合、O の除去に実質的に寄与している Ca の割合として、有効脱酸効率 f_{Ca} を (1) 式のように定義する。

$$f_{Ca} = \frac{40/16(O_I - O_F)}{Ca_I - Ca_F} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 O_I : Ca 添加前の O 濃度 (%)

O_F : Ca 添加後の O 濃度 (%)

Ca_I : 添加した Ca の溶鉄に対する割合 (%)

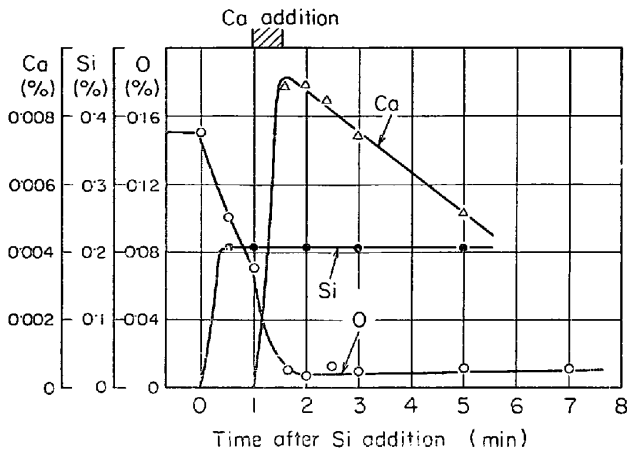


Fig. 3. Effect of Ca addition on the change of O content in the process of Si deoxidation.

Table 1. Composition of inclusions analyzed by XMA(%).

	FeO	SiO ₂	CaO
Inclusion before Ca addition	2.4	91.5	tr
Inclusion after Ca addition	2.6	42.4	48.5

Ca_F: Ca 添加後の Ca 濃度 (%)

本実験においては $f_{Ca} = 19\%$ となり, 添加した大部分の Ca は O の除去に対して実質的に作用していないことがわかる. なお添加 Ca 量が少ない場合には, Ca 添加後の到達 O 濃度は高く, また Ca の有効脱酸効率 f_{Ca} は若干よくなる傾向にあつたが, 一般に Ca だけによつて脱酸するためには多量の Ca を必要とし, O を減少させるためには効率の悪い方法といふことができる.

3.2 Si 脱酸におよぼす Ca 添加の影響

0.150% の O を含む溶鉄中に 0.3% の Si を添加し

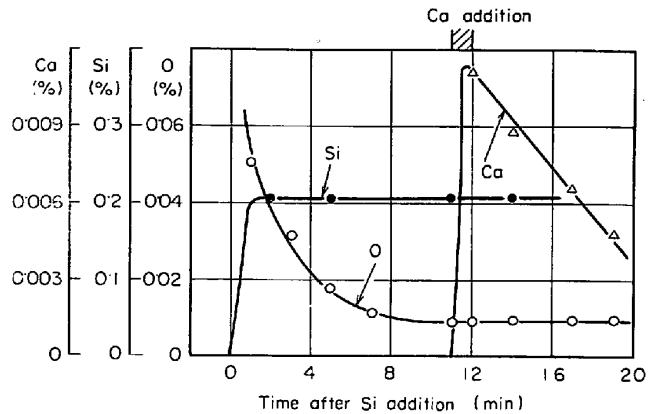
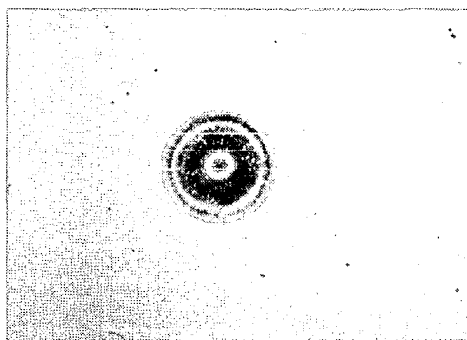


Fig. 4. Effect of Ca addition on the change of O content in the process of Si deoxidation.

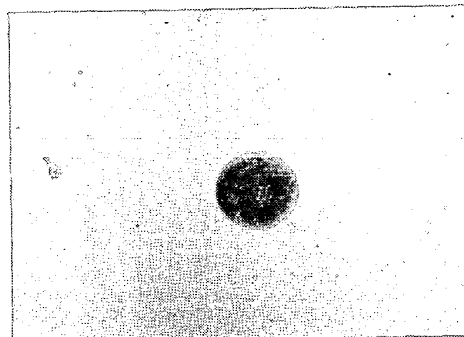
て 1 min 後に 0.06% の Ca を添加したさいの各成分の挙動を Fig. 3 に示す. これによると, 溶鉄中の Ca 濃度は Ca 添加直後に 0.0089% の値を示し, 時間の経過とともに減少している. また溶鉄中の O 濃度は Ca の添加によりほぼ Si と平衡する O 濃度 0.0106% にまで一挙に減少し, その後は一定の値を示している. Ca を添加した前後の介在物を Photo. 1 に示す. また XMA により分析した値を Table 1 に示す.

Ca 添加前の試料には Photo. 1 (a) に示したような直径 10~20 μ の SiO₂ 介在物がかなり多く存在しているが, Ca を添加した後の試料には直径 3~4 μ 以上の大きな SiO₂ 介在物は見られず, 2 次脱酸生成物と考えられる直径 1~2 μ の小さな SiO₂ 介在物とともに Photo. 1 (b) に示してあるような直径 7~8 μ の SiO₂-CaO 介在物がわずかに存在している. しかもこれらの SiO₂-CaO 介在物は Ca を添加して 2~3 min 後の試料にはほとんど見られなくなつていく.

また Fig. 4 には O を含む溶鉄中に 0.3% の Si を添加して, O が Si とほぼ平衡する値に達していると考え



(a) Inclusion before Ca addition



(b) Inclusion after Ca addition

10 μ

Photo. 1. Inclusions observed before and after the addition of Ca in the process of Si deoxidation.

えられる 11 min 後に 0.06% の Ca を添加したさいの各元素の挙動を示す。この場合も溶鉄中の Ca 濃度は Ca 添加直後に 0.011% とかなり高い値を示し、その後は時間の経過とともに減少している。また O は Si 添加後徐々に減少し、Si を添加して 8~9 min 後には Si と平衡する値に達しており、Ca 添加によりほとんど変化していない。また Ca を添加した前後の介在物を観察した結果、両者ともに 2 次脱酸生成物と考えられる 1~2 μ の SiO₂ 介在物のみが見られ、Photo. 1 (b) のような SiO₂-CaO の介在物を認めることはできなかった。

このことから Photo. 1 (b) に見られる SiO₂-CaO 介在物は 1 次脱酸生成物である SiO₂ が Ca 添加によって組成を変化したものであると考えられる。

3.3 Al 脱酸におよぼす Ca 添加の影響

0.134% の O を含む溶鉄に Fe-Al 6 g (Al として 0.3%) を添加して 1 min 後に 0.06% の Ca を添加したさいの各元素の挙動を Fig. 5 に示す。溶鉄中の Ca 濃度は Ca 添加直後に 0.009% に達し、時間の経過とともに減少している。また溶鉄中の O 濃度は Al を添加して 1

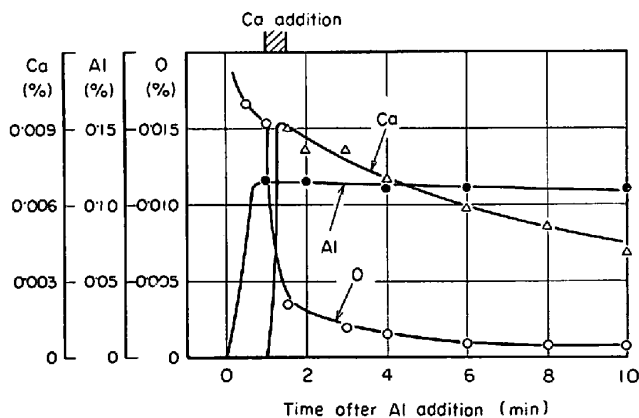


Fig. 5. Effect of Ca addition on the change of O content in the process of Al deoxidation.

Table 2. Composition of inclusions analyzed by XMA (%).

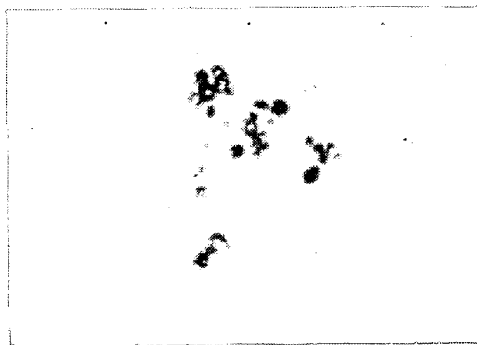
	FeO	Al ₂ O ₃	CaO
Inclusion before Ca addition	83.5	43.7	tr
Inclusion after Ca addition	42.5	43.7	12.0

min 後に 0.015% にまで減少しているが、Ca の添加により一挙に 0.0037% に達し、その後も徐々に減少して 6 min 後には 0.0006% と非常に低い値に達している。

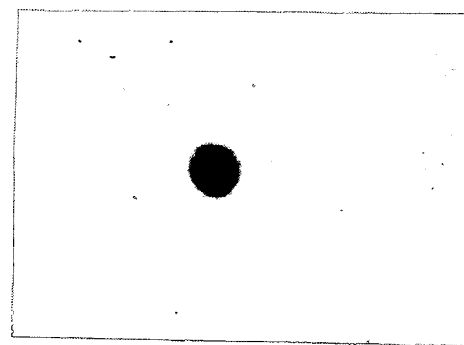
Photo. 2 には Ca 添加後の介在物を示し、Table 2 に XMA により分析したそれぞれの組成を示す。Ca を添加する前の試料には Photo. 2 (a) に示したようなクラスター状の Al₂O₃ 介在物が存在しているが、Ca を添加した後の試料にはこのような Al₂O₃ 介在物は見られず、Photo. 2 (b) に示したような直径 4~5 μ 以下の丸い介在物が存在している。なお Table 2 の分析結果によると、いずれも FeO をかなり含んでいるが、これは小さな介在物であるため XMA で分析する場合、マトリックスである Fe の影響をかなり強くうけているためと考えられ、実際には Al₂O₃ 介在物と Al₂O₃-CaO 介在物であると推定される。

Fig. 6 には Al を添加して、O がほぼ一定値に達したと考えられる 5 min 後に 1% の Ca を添加したさいの各元素の挙動を示す。この場合も溶鉄中の Ca 濃度は Ca 添加直後に 0.0143% となり高い値を示し、時間の経過とともに減少している。また O も 0.0074% から一挙に 0.0006% と非常に低い値にまで減少し、その後は時間の経過にかかわらずほぼ一定の値を示している。

このように Al 脱酸後に Ca を添加した場合、溶鉄中の O 濃度は通常の Al 脱酸ではとうてい得られないような低い値にまで急速に減少している。



(a) Inclusion before Ca addition



(b) Inclusion after Ca addition

Photo. 2. Inclusions observed before and after the addition of Ca in the process of Al deoxidation.

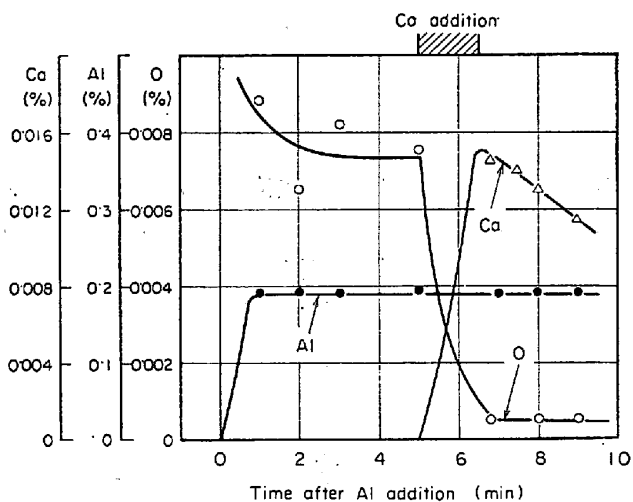


Fig. 6. Effect of Ca addition on the change of O content in the process of Al addition.

3.4 Si および Al 脱酸におよぼす Ar ガス吹込みの影響

本実験では Ar ガスを吹込みながら Ca を添加しているため、O の変化に対する Ar ガス吹込みの影響を明確にしておく必要がある。

0.142% の O を含む溶鉄に 0.3% の Si を添加して、1 min 後に 0.3 l/min の割合で 30 sec 間溶鉄中に Ar ガスを吹込んださいの O, Si の挙動を Fig. 7 に示す。また 0.153% の O を含む溶鉄に Al 6 g (Al として 0.3%) を添加して 1 min 後に 0.3 l/min の割合で 30 sec 間 Ar ガスを吹込んださいの O, Al の挙動を Fig. 8 に示す。

これらの図から明らかなように、Si, Al 脱酸いずれの場合にも Ar ガスの吹込みによつて 1 次脱酸生成の分離速度はほとんど影響をうけていないことがわかる。

4. 実験結果の考察

4.1 溶鉄中における溶解 Ca の濃度

Ca が液相として溶鉄と接する場合はガス相として接する場合に比べると、溶鉄中における Ca の濃度を高める上では非常に有利である。本実験におけるように、Ca を溶鉄の下部へ少量ずつしかも連続的に添加する場合、添加された Ca は 1600°C, 1 atm の溶鉄中では最終的には気化するが、溶鉄中を上昇する過程で過渡的に液相として存在し、溶鉄との接触面積も増大し、また接触時間も延長するため、他の添加方法にくらべ Ca 濃度を高めることが理解できる。

溶鉄中における Ca は (2) 式に示すように溶解している Ca と化合物としての Ca とに分けられる。

$$Ca_T = Ca + (Ca)_{com} \dots\dots\dots (2)$$

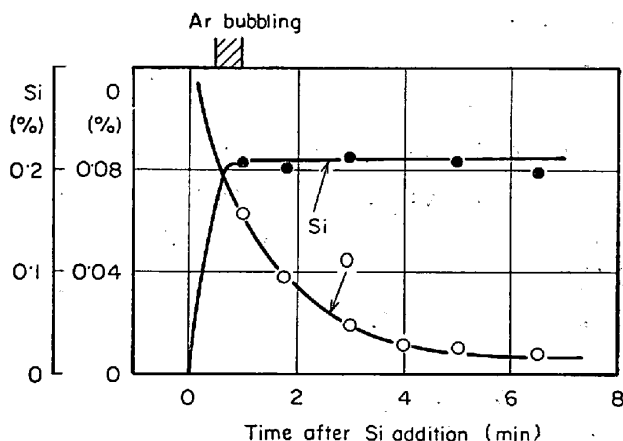


Fig. 7. Effect of Ar gas bubbling on the change of O content in the process of Si de-oxidation.

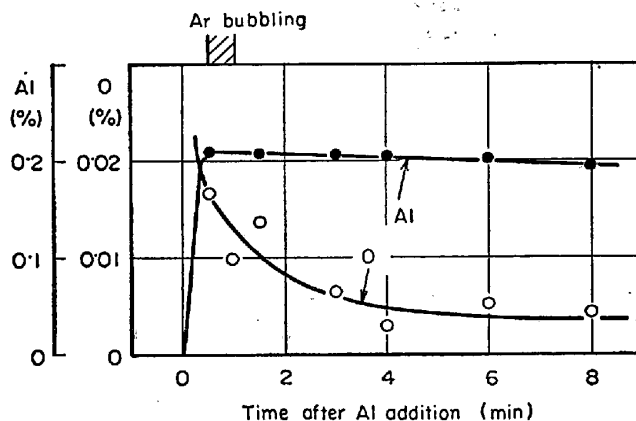


Fig. 8. Effect of Ar gas bubbling on the change of O content in the process of Al de-oxidation.

Table 3. Contents of elements at 0.5 min after Ca addition (%).

Time after Ca addition	Ca	O	S	C
0.5 min	0.0140	0.0018	0.003	0.004

ここで、 Ca_T : 全 Ca

Ca : 溶解している Ca

$(Ca)_{com}$: 化合物としての Ca

Fig. 2 には溶鉄に 1% の Ca を添加したさいの O, Ca の挙動が示されているが、Ca を添加して 30 sec 後に採取した試料中に含まれる微量元素のうち、溶鉄中で Ca と化合物を作る可能性のある O, S, C を分析して Table 3 に示す。

C との化合物 CaC_2 は SPONSELLER らの研究⁷⁾によると、溶鉄と液相 Ca が接触する場合にも $C < 0.87\%$ では生成しえないとされていることから、本実験において

はこれを考慮する必要はない。したがってこの場合(2)式は(3)式のように表わすことができる。

$$Ca_T = \underline{Ca} + (Ca)_{CaO} + (Ca)_{CaS} \dots\dots\dots (3)$$

ただし, $(Ca)_{CaO}$: CaO として存在している Ca

$(Ca)_{CaS}$: CaS として存在している Ca

ここで Table 3 に示している O, S のすべてが Ca と結びついていると仮定すれば, $(Ca)_{CaO}$, $(Ca)_{CaS}$ の値は次のように求めることができる。

$$(Ca)_{CaO} = (40/16) \times 0.0018 = 0.0045\%$$

$$(Ca)_{CaS} = (40/32) \times 0.003 = 0.0038\%$$

したがって, Ca_T は 0.0140% であるから, (3) 式より \underline{Ca} として 0.0057% の値が得られる。この場合, 実際には O, S のすべてが Ca と結びついているわけではないため, 真の \underline{Ca} の値は 0.0057% より大きいことになる。すなわち, 1% の Ca を添加して 30 sec 後の溶鉄中には少なくとも 0.0057% の Ca が溶解していたと考えてよい。

Fig. 6 には Al を添加して 5 min 後に 1% の Ca を添加したさいの O, Ca の挙動が示されているが, この場合についても同様の計算を試みしてみる。Ca を添加して 1.75 min 後に溶鉄中より採取した試料について Ca と化合物を作る可能性のある元素の分析値を Table 4 に示す。

CaC_2 の存在はすでに論じたように本成分系では考えられず, この場合にも(3)式が成立すると考えてよい。ここで Table 4 の O, S がすべて Ca と結びついていると仮定すれば, $(Ca)_{CaO}$, $(Ca)_{CaS}$ はそれぞれ次のように求めることができる。

$$(Ca)_{CaO} = (40/16) \times 0.0006 = 0.0015\%$$

$$(Ca)_{CaS} = (40/32) \times 0.002 = 0.0025\%$$

ここで Ca_T の値は 0.0143% であるから, (3) 式より \underline{Ca} として 0.0103% の値を算出することができる。この場合にも $(Ca)_{CaO}$, $(Ca)_{CaS}$ については前と同様の考慮が必要である。したがって溶鉄中に Ca を添加した直後には少なくとも 0.0103% の Ca が溶解していたと考えてよい。

この 0.0103% の値はさきに Fig. 2 の実験例について求めた 0.0057% の値よりかなり大きな値となっているが, これは Ca 添加時の溶鉄中に含まれている O 濃度

Table 4. Contents of elements at 1.75 min after Ca addition (%).

Time after Ca addition	Ca	O	S	C
1.75 min	0.0143	0.0006	0.002	0.010

の差によるものと考えられる。すなわち, 条件さえととのえば 1 atm 下の溶鉄中に 0.0103% 以上の Ca が溶解しうることが実験的に証明されたことになる。

小林ら⁶⁾は本研究における方法とほぼ同じ方法を用いて実験を行ない, 1 atm 下の溶鉄中における Ca の溶解量は 0.0030% 以下であると報告している。SPONSELLER ら⁷⁾は 1600°C の溶鉄を液相の Ca と接触させ, 0.032% の Ca が溶鉄中に溶解しうると報告している。1600°C における Ca の蒸気圧は 2 atm であることを考えると, 1 atm 下の溶鉄中における Ca の溶解度は 0.016% になる。

Ca を可能な限り溶解させようと試みた Fig. 6 の実験例においても $Ca_T = 0.0143\%$, $\underline{Ca} > 0.0103\%$ という値が得られていることから, Ca の溶解度に関する SPONSELLER らの実験結果はかなり信頼性のあるものと考えられる。

4.2 Ca の脱酸力

Fig. 2 に示したように, 溶鉄中に 1% の Ca を添加した場合, O は 0.077% から 0.0018% と非常に低い値にまで減少している。このことは溶鉄中で \underline{Ca} と \underline{O} が(4)式の化学反応を起こし, 生成された CaO (または FeO-CaO) が溶鉄から分離していることを示している。

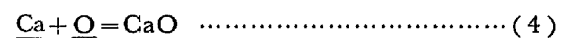


Fig. 2 に示した実験において, Ca 添加後 2 min までの Ca と O の濃度より $K'_{Ca} (= [\%Ca][\%O])$ を計算し Table 5 に示す。

溶鉄中の O 濃度はほとんど変化していないが, Ca 濃度は時間の経過とともに減少しているため, \underline{Ca} と \underline{O} の平衡が成立している時間は厳密には Ca 添加中または添加直後に限られるとみるべきである。しかし Ca の減少速度が比較的小さいことを考慮すると Ca を添加して 0.5 min 後においても \underline{Ca} と \underline{O} の平衡はほぼ成立していると考えてさしつかえない。このときの $K'_{Ca} (= [\%Ca][\%O])$ の値として 2.5×10^{-5} が得られる。 \underline{Ca} と \underline{O} の平衡定数は \underline{Ca} , \underline{O} の正確な値を決定できないため求めることはできないが, $K'_{Ca} = 2.5 \times 10^{-5}$ の値はかなり小さく, Ca の脱酸力の強いことがわかる。

Table 5. Contents of O and Ca after Ca addition and value of K'_{Ca} calculated from contents of O and Ca.

Time after Ca addition	[%O]	[%Ca]	$K'_{Ca} = \frac{[\%Ca]}{[\%O]}$
0.5 min	0.0018	0.0140	2.5×10^{-5}
1 min	0.0014	0.0130	1.8×10^{-5}
2 min	0.0016	0.0118	1.9×10^{-5}

なお、小林ら⁷⁾は 1550°C において $K'_{Ca} = 1.5 \times 10^{-5}$ を報告している。

4.3 Si および Al 脱酸におよぼす Ca 添加の影響

Fig. 3 に見られるように、溶鉄に Si を添加して 1 次脱酸生成物が多量に存在している⁹⁾ 1 min 後に 0.06% の Ca を添加した場合、溶鉄中の O 濃度は Ca 添加直後に Si と平衡する O 濃度まで急速に減少している。しかし Si を添加して 1 次脱酸生成物の分離がほぼ終了している 11 min 後に等量 (0.06%) の Ca を添加したさいには Fig. 4 に示してあるように、溶鉄中の O 濃度はほとんど減少していないことがわかる。すなわち、1 次脱酸生成物としての SiO_2 が存在している溶鉄中に少量の Ca を添加する場合、1 次脱酸生成物の分離は促進され、溶鉄中の O 濃度は溶解 O 値にまで急速に減少するが \underline{Ca} と \underline{O} の化学反応はほとんど進行しないことを示している。この場合大量の Ca を添加すれば \underline{Ca} と \underline{O} の化学反応は進行し、溶解 O が減少することはいうまでもない。

同様に Al を添加して 1 min 後に 0.06% の Ca を添加したさいの O の挙動は Fig. 5 からわかるように、Ca の添加直後にかなり急速に減少し、Si 脱酸の場合と異なりその後も徐々に減少して通常の Al 脱酸では得られないほど低い O 濃度 0.0006% にまで達している。このような O の低濃度は Fig. 6 においても同様に見られている。

Al と O の平衡値に関する学振推奨値⁹⁾によると、0.2% の Al と平衡する O 濃度は 0.000098% である。しかし 0.2% の Al による通常の脱酸においては、Fig. 6, 8 にも示されているように、溶鉄の O 濃度は 0.004% 程度にしか減少しないのが普通である。これは Al と O とが化学的に平衡状態に達するのに時間がかかるというよりもむしろ生成された Al_2O_3 が溶鉄から分離しにくいと認められる。すなわち、Al 添加後の溶鉄中の O は大部分 1 次脱酸生成物として存在しており、このような溶鉄に Ca を添加した場合、1 次脱酸生成物の分離性がかなり促進され、Al と平衡する O 濃度に近い値にまで急速に減少しているものと考えられる。またこの実験結果は Al が存在する溶鉄中の溶解 O 濃度がきわめて低いことを示しているともいえる。

このように、Ca の添加により SiO_2 あるいは Al_2O_3 などの 1 次脱酸生成物の分離性はかなり促進されていると考えられるが、Si または Al 脱酸後の 1 次脱酸生成物である SiO_2 , Al_2O_3 は Table 1, 2 に示してあるように、Ca の添加により SiO_2 , Al_2O_3 からそれぞれ SiO_2 -CaO, Al_2O_3 -CaO に変化している。この組成変化が 1

次脱酸生成物の分離性を促進しているものと考えられる。

なお、本実験の場合には、Ar ガスを吹込みながら Ca を添加している。1 次脱酸生成物の分離性は一般的に溶鉄を攪拌することによつて促進されるが¹⁰⁾¹¹⁾ Fig. 7, 8 よりわかるように、Ar ガスの吹込みだけによつては攪拌の効果はほとんど認められず、Ca 添加後の 1 次脱酸生成物の分離性におよぼす Ar ガスの影響は無視してさしつかえない。これは高周波炉を用いているため、溶鉄はすでにかなり攪拌されているためと考えられる。

5. 結 論

Ca を溶鉄中へ添加する方法として、いろいろ検討した結果、耐火物パイプを通じて添加することにより、溶鉄中に多量の Ca を残留させることを確認したので、この方法により Ca を溶鉄中に添加した場合の Ca 脱酸について検討した。その結果、次の事項が明らかになった。

- 1) 1600°C, 1 atm 下の溶鉄中には 0.0103% 以上の Ca が溶解しうる。
- 2) Ca の有している強い脱酸力を実験的に確認し、 $K'_{Ca} = [\%Ca][\%O]$ の値として 2.5×10^{-5} を得た。
- 3) Si および Al を添加して、 SiO_2 , Al_2O_3 などの 1 次脱酸生成物が残留している溶鉄中に少量の Ca を添加すると、1 次脱酸生成物の分離は急速に促進され、溶鉄中の O は Si または Al と平衡する値近くまで急速に減少する。

これは Ca の添加により 1 次脱酸生成物組成が SiO_2 -CaO または Al_2O_3 -CaO となり、この分離性がよいためと考えられる。

文 献

- 1) H. GOLDSCHMIT: Iron Age, 82(1908), p. 232
- 2) W. S. ANDERSON: Raw Material, 4(1921), p. 51
- 3) W. ZIEHER: Arch. Eisenhüttenw., 5(1931), p. 299
- 4) R. K. IYENGER and G. C. DUDERSTADT: Trans. Met. Soc. AIME, 245(1969), p. 807
- 5) 渡辺, 草川: 鉄と鋼, 53(1967), p. 787
- 6) 小林, 大森, 三本木: 鉄と鋼, 56(1970), p. 998
- 7) D. L. SPONSELLER and R. A. FLINN: Trans. Met. Soc. AIME, 230(1964), p. 876
- 8) 宮下: 鉄と鋼, 52(1966), p. 1049
- 9) 日本学術振興会製鋼第19委員会編: 製鋼反応の推奨平衡値, (1968), p. 55[日刊工業新聞社]
- 10) 川和, 大久保: 鉄と鋼, 53(1967), p. 1569
- 11) W. A. FISCHER and M. WAHLSTER: Arch. Eisenhüttenw., 28(1957), p. 60