

## 討 8 鉍石類の高温還元挙動と溶解に関する検討

住友金属工業(株)中央技術研究所

○ 下田輝久 岩永祐治 山岡秀行  
亀井康夫 高谷幸司

### 1. 緒 言

将来予想される良質原料炭の不足と価格高騰および鉄鉍石の品位低下は高炉プロセスを一層複雑化するものと考えられ、この対策として種々、操業技術の改善が進められている。また一方では高炉によらない製鉄法の研究開発も活発に行われている。

本報では、このような状況に鑑み、高炉内における装入物性状の変化、特に、軟化融着にともなう問題点について述べるとともに、軟化融着の影響を受けにくい還元鉄溶解法を紹介する。本溶解プロセスは微粉炭および酸素を主燃料とする方法であり、これらに関して基礎実験および実験溶解炉の操業により検討を行ったので、その結果についても報告する。

### 2. 装入物の還元および伝熱特性におよぼす軟化融着の影響

高炉内においては、鉍石類装入物は荷重下において昇温還元されるため、軟化融着層を形成するが、これにより次のような問題が生じる。

即ち、融着層内における還元の停滞および、層内伝熱に対して伝導伝熱が支配的となることによる加熱溶解能力の低下である。

そこで、還元におよぼす軟化融着の影響について以下の検討を行った。

焼結鉍をウスタイト段階まで予備還元し、 $N_2$  雰囲気荷重条件下にて作成した融着層から切り出された立方体試片のガス還元を行い、次の結果を得た。

- 1) 収縮率の増加および試片寸法の増大にともない、還元速度は低下しているが、これは気孔率の低下により反応形態が均一反応から界面反応へと変化したことを示す (Fig.1-a, b)。
- 2) 還元組織は収縮率の増加にともない、トポケミカルな組織へと移行しており、上記 1) の結果を裏付けている (Photo.1)。
- 3) 1300℃では融液の生成による還元停滞が生じる (Fig.1-c)。

このように、融着層内の通過ガス量が低下すると、還元は融着層の周囲から層を単位として内部に向かって進行する。これが塊状帯における還元と比較して大きく異なる点と考えられる。

したがって、前出の伝熱の面での問題も考慮すると、

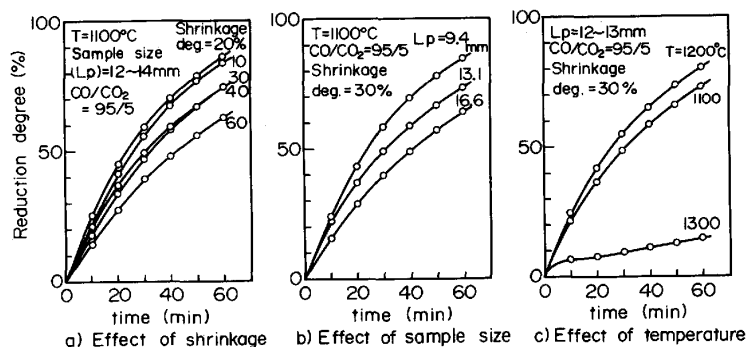
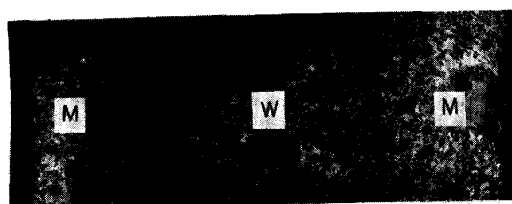
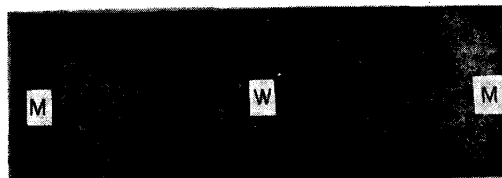


Fig.1 Reduction behavior of softened sintered ore



(a) Shrinkage degree = 30%



(b) Shrinkage degree = 60%

Photo.1 Structure of reduced sinter  
(Reducing condition : 1100°C, 30min)

軟化融着による収縮を抑制することによりガス還元を促進させ、同時に、ガス・装入物間の対流伝熱による溶解能力の向上を実現できるプロセスが望ましい。

### 3. 鉱石類の還元および溶解プロセスについての検討

#### 3.1 プロセスの構成と特徴

鉱石類の軟化融着による影響を受けにくく、合わせてコークスのソリューションロス等による劣化の影響をも最小限に止めることを目的として、高炉の軟化融着帯を境に還元炉と溶解炉とにそれぞれ機能を分離したプロセスについて検討を行った (Fig.2)。

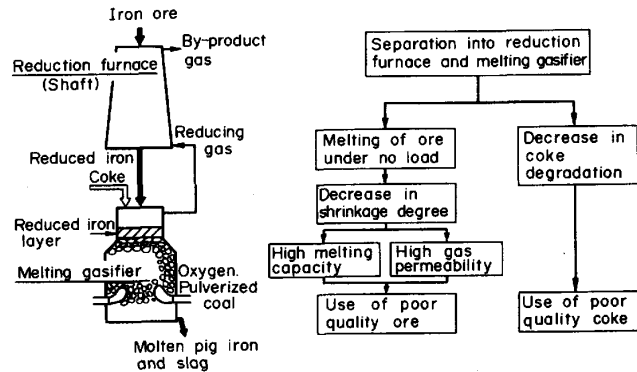


Fig.2 Principle of the iron making process separating the functions of melting and reduction.

プロセスの特徴は次のようなものである。

- 1) 微粉炭の酸素による部分酸化で得られる高温還元ガスにより、コークス充填層の上部で半還元鉄を急速に溶解する。
- 2) 還元鉄は自重のみによるわずかな荷重条件下で加熱され溶解する。
- 3) 溶解炉においては金属化率の低い還元鉄でも溶解可能なため、CO主成分のガスによる還元炉操作の経済性も考慮し、還元率85%の還元鉄を装入する。

#### 3.2 基礎実験による検討

溶解炉における還元鉄の溶解過程を把握するため、予備還元したコールドボンドペレット (粒径12~15 mm, 還元前組成 T.Fe=56.2%, FeO=0.8%, M.Fe=0.6%) を使用し、荷重軟化, 溶解および熔融還元特性を調査した。

##### 3.2.1 荷重軟化特性におよぼす荷重の影響

本プロセスでの予備還元率85%におけるペレットの嵩密度は約1.6g/cm<sup>3</sup>-bedであるため、溶解部コークス充填層上に装入される層厚300mmのペレット層の自重による荷重は最大で0.05Kg f/cm<sup>2</sup>となる。そこで、等温荷重軟化試験により収縮速度を測定し、軟化特性について検討した。

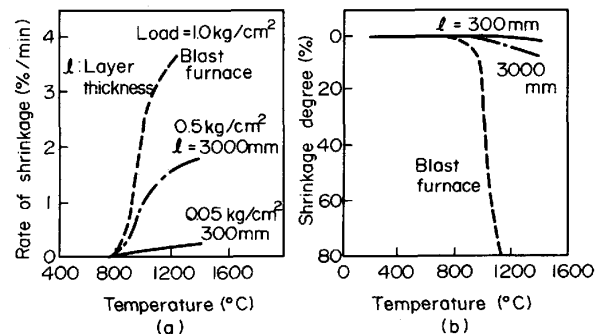


Fig. 3 Effect of layer thickness of reduced pellet on softening characteristics. (Pre-reduction deg. = 85%)

Fig.3-a) に示すように、高温ほど、また荷重が増加するほど収縮速度は速くなる。特に900℃以上では急激に収縮することから、通気性を確保するためには、急速溶解の必要なことがわかる。

Fig.3-b) は収縮速度および炉内高さ方向の温度分布を用い、次式により算出した収縮率を高炉の場合と比較して示したものである。

$$r = \int_0^t \dot{\gamma}(T) dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

r : 収縮率 (%),  $\dot{\gamma}(T)$ : 温度T℃における収縮速度 (%/min), t : 炉内経過時間 (min)

高炉法に比較して、本溶解法の場合には収縮率が著しく小さく、高炉法においては100% 装入の難しい装入物でも使用可能と判断される。

### 3.2.2 溶解および熱交換特性

タンマン炉内において、底部に穴を有する黒鉛ルツボ内にコークスを充填し、N<sub>2</sub> 気流中で所定温度まで加熱後、コークス層上にペレット試料を投下して溶解させた。

Fig.4に示すように、予備還元率の増加にともない滴下温度は上昇し、予備還元率85%における滴下温度は1400~1450℃と推定される。また溶解量と所要熱量との関係から、見掛けの溶解熱として56 Kcal/kg がえられた。

排ガス温度の推移をもとにして算出したガス・ペレット間の熱伝達率とガス流速との関係をFig.5に示す。充填層におけるガス・粒子間の熱伝達式として一般に使用されているRanzの式と同様な形で整理され、絶対値は0.4倍となった。これは試料層の部分的な融着により、層内通過ガス量が減少し、実質的に伝熱速度が低下したためと解釈される。

### 3.2.3 熔融還元性に関する検討

溶解炉内に装入された半還元ペレットは熔融後、滴下過程でコークスにより還元されるため、熔融還元性状は通気性および炉床におけるスラグ・メタル反応に大きな影響をおよぼす。そこで、コークス層上に予備還元ペレットを投下し、還元により生じる排ガス組成の変化を追跡することにより検討を行った。

Fig.6に示すように、予備還元率が70%以上になると熔融還元速度は低下する傾向が認められる。これは、FeO 活量の低下による効果と融体の流動性向上によるコークス層内滞留時間の減少とによるものと考えられる。本溶解法では全還元量の15%を熔融還元で占めれば良いため、速度の低下は反応面で悪影響は与えず、むしろ予備還元率の上昇がもたらす通気面の改善効果が期待できる。

なお、1450~1600℃における速度定数のArrheniusプロットはFig.7に示す関係にあり、見掛けの活性化エネルギーとして46.2Kcal/mol がえられた。これは、S.V. Shabrin<sup>3)</sup>の40~50Kcal/molおよび高橋<sup>4)</sup>の56Kcal/molに比較的近い値である。

### 3.2.4 安定溶解条件の検討

前節でえられたペレットの滴下温度、溶解熱および熱伝達率を用いて、コークス充填層上部でペレットを溶解する場合に必要な熱交換層厚を算出し、溶解能力の評価を行った。計算結果をTable 1に示す。

実験溶解炉（還元ペレットを常温装入、炉頂ガス温度1200℃）では、溶解に必要な層厚は90mmで、溶解能力は1.1 t/(m<sup>2</sup>·h)と推定され、実用段階を想定した溶解炉（ペレットを予熱装入、炉頂ガス温度900℃）では溶解層厚は300mmで溶解能力は4.8 t/(m<sup>2</sup>·h)と

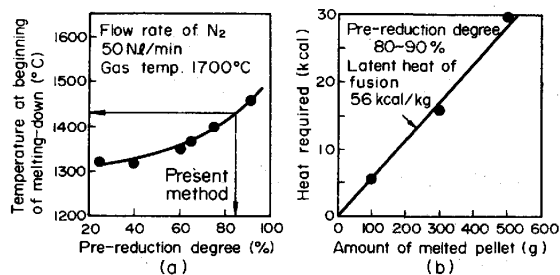


Fig. 4 Experimental results on melting temperature and heat of fusion

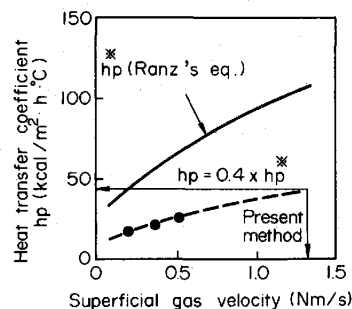


Fig. 5 Effect of gas velocity on heat transfer coefficient

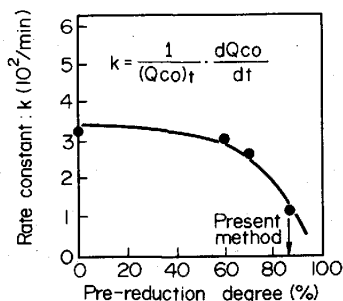


Fig. 6 Effect of pre-reduction on smelting reduction

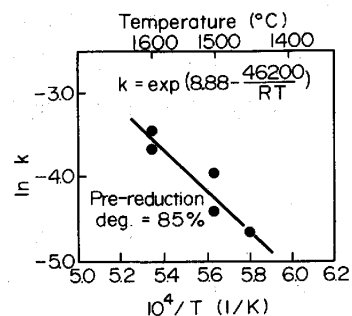


Fig. 7 Temperature dependence of rate constant

推定された。軟化性状についての検討結果(3.2.1節)を考慮すると、通気性面での問題は少なく、高炉の2倍程度の溶解能力を確保できるとの見通しが得られた。

4. 実験溶解炉による溶解実験

4.1 実験設備および方法

高さ6.5m、炉上部の溶解部内径0.5m、炉下部内径0.8m、最大炉頂圧2Kg/cm<sup>2</sup>-Gのークス充填層型溶解炉を使用した。酸素吹込量は200~300Nm<sup>3</sup>/h、微粉炭吹込量は100~250kg/hであり、主要計測項目は熱間における検尺、炉内煤の採取、通気性の測定および出銑成分の分析である。なお操業後はN<sub>2</sub>ガスにより冷却し、炉内の解体調査を実施した。

4.2 還元鉄の高速溶解機能

還元率85%の還元ペレットを装入した場合のストックレベルの経時変化をFig.8に示す。実測値とークス消費速度から算出されたストックレベルとの差より求められた還元ペレット層厚は100mmであったがこれは基礎実験をもとに推定された層厚90mm(Table-1)とほぼ一致しており、本溶解法の基本機能を実証するものと判断される。

4.3 溶銑成分の検討

スラグ・メタル間のSの分配をFig.9に示す。実績分配値と平衡分配値との関係から平衡到達度(R<sub>s</sub>)として0.12がえられ、良好な脱硫能が認められた。

また、実用段階を想定した溶解炉での燃料比においてはS<sub>i</sub>=0.5%程度になると期待される。

5. 結言

鉍石類の軟化融着による影響を受けにくい溶解プロセスについて述べ、基礎実験によりその可能性を検討するとともに、実験溶解炉による操業に基づいて基本機能である高速溶解機能を実証した。今後、さらに基礎実験および実験溶解炉による検討を重ね、還元および溶解機構の解明をはかる予定である。

参考文献

- 1) 杉山, 八木, 大森: 鉄と鋼, 64(1978)P1676, 2) 杉山, 八木, 大森: 鉄と鋼, 65(1979)P341
- 3) S.V.Shabrin: Izv.VUZ Chern.Met., (1976) P26, 4) 高橋, 天辰, 相馬: 鉄と鋼, 61(1975)P2525, 5) F.D.Richardson et al. JISI(1954)P4等の熱力学的数値に基づいた。

Table 1 Estimation of melting capacity of pre-reduced pellet.

		Experimental furnace	Commercial furnace(cal.)	Blast furnace (Sumitomo)
Gas flow rate	Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h	4650	4650	3100
Top gas temp.	°C	1200	900	—
Temp. of charging pellet	°C	25	500	—
Melting temp. of reduced pellet	°C	1420	1420	—
Melting rate	t/m <sup>2</sup> ·h	1.10	4.80	2.24
Pellet layer thickness	cal. mm	90	300	—
	obs. mm	100	—	—

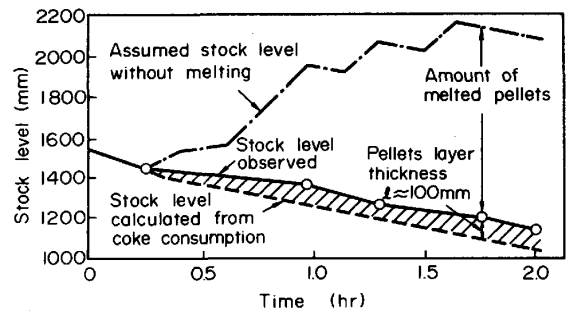


Fig. 8 Estimation of layer thickness required for complete melting.

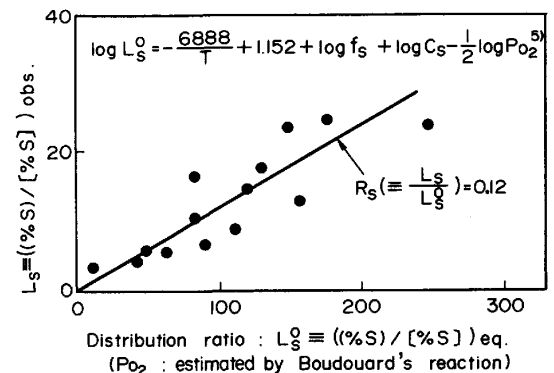


Fig.9 Relationship between observed and equilibrium distribution ratio of sulfur.