

粒度はできるだけせまい範囲に規定すべきで広い範囲に亘るものは同一試料でも粒度分布の相違により結果が多少ばらつく事になる。

VII. 結 言

以上の実験より少量の試料による標準還元法としてまず温度については 1000°C とする必要はない事は明らかで 900°C, 800°C の何れを選ぶかについては褐鉄鉱、赤鉄鉱では何れでも大差ないが磁鉄鉱ではその差が大きく難還元性のものは 800°C で 2 時間還元してもなお低値を示す。比較的還元の進行した点で比較する意味で 900°C が良く、また粒度による測定値のばらつきも少くする事ができる。

粒度についてはせまい範囲に限定する事が必要であり多少とも鉱石の物理的性状を多く加味した点で 4~5 mesh を採用したい。

試料採取量は大なる程同一試料内の成分的変動は減少してくる訳で還元測定結果も試料 1g の場合はばらつきが大きく、5g の場合は再現性良好であつた。従つて試料は 5g とするのが適当と考える。

試料 5g とした場合、流量は 200~400cc/mn が考えられ余り流量を大にする事は装置的に制限をうけるしまた小流量では流量の変動が測定誤差におよぼす影響が大きくなる。還元により生成した水分を速やかに U 字管迄もたらし事等を併せ考え、標準流量として 300cc/mn が適当と考える。

被還元性の表示法としては還元曲線をその儘示すのが最も適切であるがこれを数的に表現しようとする場合種々の問題が生じ、なおこれについては検討を要するが還

Table 1.

Sample 4~5 mesh, 5g
Reduction temp. 900°C
Reduction gas. H₂ 300 cc/mn

Sample		Reduction degree (%)		
		30 mn	60 mn	120 mn
Limonite	Kagura	97.7	99.7	99.8
Hematite	Goa	95.8	98.7	99.3
	Utah	96.8	98.9	99.2
	Samar	95.9	98.4	99.3
	Ipoh	98.0	99.8	99.9
	Chûshû	98.0	99.8	100.0
Magnetite	Larap	74.8	87.3	94.0
	Marinduque	93.7	98.8	99.6
	Vancouver	91.7	97.3	98.9
Sinter	A	84.7	96.5	98.6

元後30分、1時間および2時間の3点における還元率を以つて表示したい。なお30分にしてすでに95%以上の還元率を示すものについては30分後の還元率を示すのみで1時間2時間後の値を示す必要はない。

以上の最適条件と考えられる実験条件において数種の褐鉄鉱、赤鉄鉱、磁鉄鉱を測定せる結果は Table 1 の如くであつた。

小塊試料の H₂ による還元試験法は実際の高炉における還元条件と著しく趣きを異にしている欠点を有する。然し乍らとりあえず可成り簡単で妥当性のある還元試験法を決めてそれによる結果と実際操業その他との関連性を検討しようというのが標準試験方法のねらいであるので今後この方法による結果と、より実際操業に近い塊試料、CO を主体とせる還元ガスによる還元等との実験結果或いは実際の作業データ等との関連性をよく検討する事が必要となつてくるわけである。

(53) 熔鉱炉の理論的操業限界

(Theoretical Limitation of Blast Furnace Operation)

Hitoshi Suematsu.

八幡製鉄所管理局 第三部

冶金理管課 末 松 一

I. 緒 言

最近コークスの品質の向上、鉄鉱石の size の管理徹底、操業技術の進歩向上によりコークス比は著しく低下し世界水準を遙かに凌駕する状況である。此処にコークス比の技術的限界、経済的限界を純理論的に計算し将来の製鉄技術の進むべき方向に示唆を与えんとするものである。

II. 考 え 方

熔鉱炉は近代的高炉を対象とし還元炉、溶解炉、瓦斯発生炉の条件を兼ね備えたものとす。

(a) 還元炉

還元剤としてはコークスを使用し装入物中の鉄分は 99% 以上還元され、還元過程はコークスの燃焼により発生した CO ガス およびコークス中の炭素のいずれかによるものとし他の還元方式は考慮しない。

(b) 溶解炉

燃料としてコークスを使用し供給空気は最大限に加熱され衝風として下部より供給するものとす。

生成される熔銑熔滓は常に良好なる流動性を有し完全に分離し同時に成分も管理内に保持されるものとす。

(c) 瓦斯発生炉

排出瓦斯は一定の熱量を有し燃料として使用価値あるものとす。

以上の三条件を満足すべきコークス比の範囲は一定限界にせばめられ数理的に算出する事が可能となる。

III. コークス比

計算上の仮定

吹製鉄種 製鋼鉄

規定成分 Fe 93.00%, C 4.30%, Si 0.75%,

Mn 1.00%,

P 0.35%, Ti 0.25%, S 0.035% >

コークス F.C 86.50% Ash 12.00%, 潰裂強度 (D. I.) 92% (15mm指数)

鉄 鉱 石 平均鉄分 57%, 銑鉄となる Fe の 70% は磁鉄鉱, 30%は赤鉄鉱より還元されるものと仮定す。(但し焼結鉱は磁鉄鉱と見做す)

雑原料 銑鉄 t 当 60kg 使用し Fe 分は全部 M:Fe とし 85% と仮定す。

媒 熔 剤 銑鉄 t 当石灰石 250kg, 平炉滓 150kg とす。

石灰石中の CO₂ 分 43% とす。

この CO₂ を容量に換算すれば

$$\frac{250 \times 0.43 \times 22.4}{44} = 56 \text{m}^3, \text{C量に換算すれば}$$

$$\frac{250 \times 0.43 \times 12}{44} = 30 \text{kg}$$

石灰石の分解による CO₂ ガスは何等反応にあずからず炉外に出るものとす。

ダスト量 t 当発生量 12kg, C 含有量 30% とすれば

$$12 \times 0.3 = 4 \text{kg}$$

銑鉄 1 t を還元生成するに要する C 量の計算

鉄鉱石より還元される Fe 量

$$(1.000 \times 0.93) - (60 \times 0.85) = 879 \text{kg}$$

Fe₃O₄ より還元される Fe 量

$$879 \text{kg} \times 0.7 = 615 \text{kg}$$

Fe₂O₃ より還元される Fe 量

$$879 \times 0.3 = 264 \text{kg}$$

Fe の全部が CO ガスの間接還元を受けると仮定した時の炭素所要量は

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2 \dots \dots \frac{615 \times 48}{168} = 175.71 \text{ kg}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2 \dots \dots \frac{264 \times 36}{112} = 84.85 \text{ kg}$$

$$175.71 + 84.85 = 261 \text{kg}$$

コークス比の計算例

炉頂瓦斯の CO/CO₂ = 1.6 Fe の 70% は瓦斯還元, 30%は直接還元にて生成されるものと仮定す。

$$\text{炉頂瓦斯中の C 量} (261 \times 0.7 + 30) \times (1 + 1.6) = 554 \text{kg}$$

石灰石からくる C 量を控除しコークス比に換算すれば

$$\frac{554 - 30 + 43 + 4}{0.865} = 660 \text{kg}$$

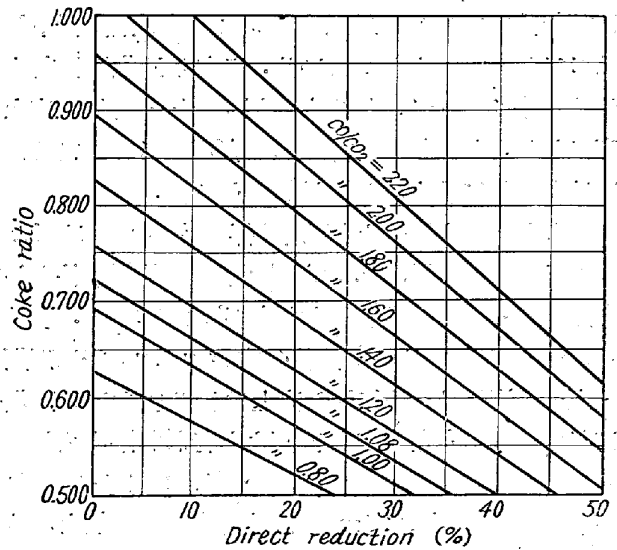


Fig. 1. Relation between coke ratio-CO/CO₂ (in top gas)-direct reduction.

上記の計算を基礎として風量, 瓦斯発生量, 瓦斯発熱量を各々計算し熱平衡を保持し得る限界は下記の如くなる。この時の送風温度 700°C, 炉頂瓦斯の発熱量は 750cal とす。

高炉操業限界点

コークス比	0.585
ore/coke	2.65
風量 1000m ³ /mn時の出銑量	920t
送風温度	700°C
銑鉄 t 当送風量	1.635m ³
直接還元率	31%
銑鉄 t 当 C の Solution loss	80kg
銑鉄 t 当炉頂瓦斯発生量	2,217m ³
炉頂瓦斯発熱量	750Cal
炉頂瓦斯中 CO ₂	17.5%
〃 CO	24.1%
〃 CO/CO ₂	1.38

IV. 考 察

以上の計算にて明らかなる如くコークス比は瓦斯還元率および直接還元率の増減により変化するものである。今仮に Fe の 100% が瓦斯還元を受け CO/CO₂ の比が平衡値の 1.80 になつたとしてもコークス比は 0.72 であり実際作業より可成り高い値を示すものである。この時の瓦斯の発熱量は 605 cal となり利用価値はなくなるであろう。また熱平衡においても過剰熱となり衝風を加熱する必要はないであろう。

最近わが国各製鉄所共瓦斯還元率向上の手段として鉄鉱石の破碎強化、粒度管理に意をそそぎ CO/CO₂ の比は数年前までは 2.0 以上であつたものが漸次低下し最近では 1.60~2.00 となつている。これを瓦斯還元効率で示せば従来 28%~30% のものが 33%~35% に向上した事になる。なお経済限界の CO/CO₂=1.38 までになるには 38% に向上させなければならぬ。

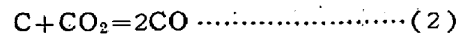
次に CO/CO₂ と最も関係の深いのは heavy charge であるが、heavy charge の前提条件として必ず原料の粒度管理を行わなければならない。戦前の如く、粉鉱より 100mm 前後の広い range では瓦斯の均一上昇を阻害し還元率の向上は望み得ない。瓦斯還元は必ず鉄石の加熱された表面より行われ漸次内部へ進むものである。100mm の塊鉄を 50mm に破碎すれば表面積は 2 倍となり 25mm に破碎すれば 4 倍となる。実験の結果鉄石が 800°C の温度に達するまでの表面よりの還元深度は約 5mm である故、100mm の鉄石の場合は瓦斯還元は僅かに 27%、50mm にすれば 49%、25mm に破碎すれば 78% までは瓦斯還元が行われる事になる。磁鉄鉱より 1 kg の Fe を還元するに要する熱量を比較すれば

Size of ore	Gas reduction at 800°C
100mm	27%
50mm	49%
25mm	78%

Reduction cal of Fe ₃ O ₄	CO→CO ₂	C→CO	Cal
-1.593 cal	+438 cal	+503 cal	-652 cal
-1.593 cal	+794 cal	+352 cal	-447 cal
-1.593 cal	+1.265 cal	+152 cal	-176 cal

上記の熱量計算に示す如く粒度管理を行う事により所要熱量は小さくなり、heavy charge が可能となりコークス比の低下となる。

次に直接還元であるが、鉄鉱石を主体に考えれば直接還元であり、コークスを主体に考えれば Solution loss である。



Fe の大部分は (1) の如く CO により還元されるものであるが 900°C 以上の温度では生成された CO₂ ガスの一部は隣接コークスと反応して (2) の Solution loss 反応を起す事が考えられる。また Fe の一部は未還元のまま熔融し slag となり solid carbon による (3) の反応で還元されるものである。両者の割合を計算にて知る事は不可能であるから此処では両者を合して直接還元または Solution loss と称する事にする。従来直接還元または Solution loss を技術的に調整する事は困難視されていたが最近では装入物の粒度コークスの反応性を知る事により或る程度制御ができるようになった。

V. 結 論

仮定を設けて熔鉱炉の操業限界を純理論的に計算した結果次の限界値を知る事ができた。(但し送風温度 700°C, 瓦斯発熱量 750cal)

- (1) コークス比 0.585
- (2) ore/coke 2.65
- (3) 風量 1,000m³/mn 時の出鉄量 920t

この時の Fe に対する還元率の平衡値は瓦斯還元率 69% 直接還元率 31% である、C の Solution loss 平衡値は鉄 t 当 80 kg, 装入炭素量に対して 16% である。

この時の排出瓦斯は温度 150°C, 潜熱 750 cal まで低下する。

- (1) 鉄鉄 t 当発生量 2.217m³
- (2) CO₂ 含有量 17.5%
- (3) CO " 24.1%
- (4) CO/CO₂ 1.38

以上の数値を示す時が熔鉱炉の最も経済的な操業限界である。

(54) 熔鉱炉のコークス比に対する一考察

(A Study on Coke Ratio of Blast Furnace)

Yuji Togino.

八幡製鉄株式会社 工 研 野 雄 二

熔鉱炉は還元炉および溶解炉としての条件を満足しなければならない。この二つの条件を満足させるために必要にしてかつ充分な装入カーボン量がコークス比を決定