成形コークスの製造と高炉装入試験

—昭和47年4月20日講演—

住友金属工業株式会社 菅 沢 清 志・仁 礼 尚 道
田 坂 鋼 二・角 南 好 彦
京阪煉炭工業株式会社 日 野 契 芳・坂 井 武 雄
安 部 信 義・篠 田 正 隆

1. 緒 言

強粘結炭を使用しないで、非粘結炭を主原料とした高炉用成形コークス製造に関する研究は、十数年前から、わが国をはじめ世界各国で行なわれてきた。そして2, 3の国では、試作された成形コークスが、700 m³ 程度の小型高炉において試験的に使用されたこともあるが、試験期間が短かったことや、ダストの増加、風圧の上昇などが認められたことなどから、成形コークスが大型高炉に使用できるか否かは疑問であった。

京阪煉炭工業(株)では、長年の経験によって得た石炭成形技術を冶金用コークスの製造に応用すべく、昭和31年から研究を進め、昭和44年にいたり、大阪市内北港地区にある同社の敷地内に約12億円の工費で、中間規模の成形コークス製造設備の建設を開始した。

一方、住友金属工業(株)ならびに住金化工(株)では、将来の強粘結炭資源対策の一つとして、成形コークス法を重視し、昭和40年から、その製造方法について調査研究を進め、小型装置により実験的に良質な

成形コークスを製造しうる見通しを得たが、実験規模を拡大するにあたり、京阪煉炭工業(株)の石炭成形技術に着目し、昭和45年末から、成形コークスの量産およびその高炉使用について共同研究を行なうに至った。その結果、良質の成形コークスが製造できることが確認されたので、昭和46年11月から、京阪煉炭工業(株)大阪コークス工場の操業を開始した。そして、大阪コークス工場で生産された成形コークスは、住友金属工業(株)小倉製鉄所第2高炉において、昭和46年12月から試験的に装入を開始し、昭和47年3月末現在で50%配合試験を終了した。この間の同高炉における成形コークスの使用量は、約14,000tに達し、高炉炉況・コークス比などの面で、通常の高炉用コークスと比較して、なんらそんな色なく使用できることが確認された。

2. 大阪コークス工場 (Photo 1) の概要

所 在 地：大阪市此花区北港本町4番地
工 場 敷 地：約 31,000m²
貯 炭 能 力：約 20,000t

Table 1 Trials in industrial blast furnaces of formed coke

Company and Works	State	Blast furnace	Test period	Used coke
Petrovskii Works ²⁾	U. S. S. R.	700m ³ (vol.)	Oct. 29-Nov. 6 1966 8 days	UKHIN. 25% 3,000t
Armco Steel Hamilton Works ¹⁾	U. S. A.	5.6m (h. d.) 641m ³ (vol.)	1967 12 days	F. M. C. 10,000t
Hoesch AG Huttenwerke, Dortmund ¹⁾	West Germany	9.5m (h. d.) 1438m ³ (vol.)	Mar. 28, 1969 1 days	B. F. 1,500t
Reinstahl Huttenwerke ³⁾ AG Werk Henrichshutte, Hattingen	West Germany	6.8m (h. d.) 764m ³ (vol.)	Apr. 3, 1970 7 days	B. F. 100% 7,000t
Inland Steel Indiana Harbor Works ¹⁾	U. S. A.	—	Aug. 25, 1970 1 days	F. M. C. 140t
Sumitomo Metal Industries. Ltd. Kokura Works	Japan	8.4m (h. d.) 1350m ³ (vol.)	Dec. 10, 1971~ Mar. 25, 1972 57 days	Keihan 14,000t

Photo. 1 A view of Osaka Coke Factory

配合設備：原料槽，石炭粉碎機，混炭機，混練機
 成形機：ダブルロール式 15t/hr 2 台
 成形能力：5,000t～6,000t/月
 成形炭槽：地上槽 (300t)，炉上槽 (40t)
 コークス炉：DIDIER-KELLOGG 社製開底式堅型
 炉 24 門 (6 門×4 組)
 炭化室高さ 5.04m，長さ 3.05m，幅
 0.27m，上下方向テーパー 100mm
 有効内容積 3.9t/門
 成形炭装入量 2.8～2.9t/門
 炉付帯設備：消火車，コークワフ，コークス篩

ガス処理：湿式および乾式脱硫装置，ガスホルダ

排水処理：活性汚泥法

3. 成形炭の製造

成形炭の性質は，成形コークスの品質を決定する重要な要素である。各原料の配合割合は，使用する各石炭のコークス化性を考慮して決定されるが，今回の試験においては Table 2 に示すような配合を採用した。成形炭の製造工程は，Fig. 1 に示すとおりである。すなわち，原料槽から所定の配合割合にしたがって切り出された各原料は，3mm 以下に粉碎されたのち，混炭機をへて混練機に供給される。混練機内では，機内に吹き込まれる高温水蒸気の熱によって，配合原料中のピッチが熔融するとともに，配合原料はさらに十分な混練がなされたのち成形機に供給され加圧成形される。

Table 2 Raw materials of briquette coal

Coking coal 5～10%	(Bituminous coal)
Non coking coal 70～85%	(Anthracite, Sub-bituminous coal)
Carbon materials 0～10%	(Coke breeze, Oil coke)
Binders 10%	(Coal tar, Hard pitch)

Fig. 1 Production process of formed coke

Table 3 Quality of briquette coal

Total moisture	8~10%
Ash	7~9% (Dry basis)
Volatile matter	22~29% (Dry basis)
Total sulphur	0.4~0.6% (Dry basis)
Crushing strength	> 350kg/p
Average size	53×53×35mm (Masec type)
Average weight	65~66gr/p (wet basis)

このようにして製造された成形炭は、ネットコンベアおよびベルトコンベアにより地上槽にいったん貯蔵される。成形炭の品質は Table 3 に示したとおりである。

4. 成形炭の乾留

西独 DIDIER-KELLOGG 社製の開底式堅型コークス炉は、Fig. 2 に示すような特殊な構造を有している。すなわち、炭化室の下方に開閉可能な扉を有し、被乾留物は乾留終了後、この扉を開放することによって自重で炉外に排出されるので、通常の室炉式コークス炉にみられるような押出機やガイド車などの重機械類を必要としない。また加熱が水平フリュー方式であること、および、燃焼用空気と燃焼排ガスとの熱交換が、レキュペレーターによっていることも室炉式コークス炉と異なる点である。

成形炭は、炉上槽および装入車をへて、炭化室上部の装入口から炉内に装入されるが、この間の作業は、通常のコークス炉作業となんら変りない。乾留終了後の赤熱コークスは、消火車により消火塔へ運ばれ、散

Fig. 2 Sketch of coke oven

Table 4 Operating indices of coke oven

Briquette coal production	4,500~5,000t/m
Formed coke production	3,500~4,000 "
Oven charge	2.8~2.9t/oven
Oven output	2.0~2.5 "
Coke yield	75~77%
Ratio of irregular sized coke (+50mm)	< 1.0%
Ratio of coke breeze (-15mm)	< 3.0%
Coking time	10.0hr
Flue temperature	1250~1300°C
Exhaust gas temperature	350~400°C
Heat consumption	620~650kcal/kg coal
By products	
Crude Tar	45~50kg/coal
Crude Gas	240~260Nm ³ /coal
Content in coke oven gas	
CO ₂	1.6%
O ₂	0.1%
CO	6.4%
N ₂	4.7%
CH ₄	22.0%
H ₂	62.7%
CnHm	2.5%
Cal.	4,600~4,700kcal/Nm ³

Table 5 Comparison of quality between formed coke and conventional coke

	Formed coke	Conventional coke
Proximate and ultimate analysis (%) :		
Total moisture	1~3	2~4
Ash (dry basis)	9.5~10.3	10~11
Volatile matter (dry basis)	0.6~1.0	0.7~1.0
Total sulphur (dry basis)	0.49~0.53	0.58~0.65
Mechanical strength :		
DI-15 (30R) by JIS	94.0~96.0	91.8~92.5
DI-15 (150R) by JIS	83.5~87.0	79.0~82.0
TI-6 (1400R) by ASTM	69.0~75.0	—
TI-6 (400R) at 1000°C	77.0~80.0	66.0~70.0
Crushing st. in piece	800kg	620kg
Size analysis (%) :		
> 50mm	0	60~65
50—25	94~97	30~35
25—15	1~4	3~4
< 15	1~5	3~6
Average	47×47×30	70
Average porosity (%) :	25	41
Water percent after 24 hours in water :	8	17
Bulk density (gr/cm ³) :	1.24	1.13
Reactivity (%) :	7~8	6~7

水消火される。Table 4 に最近のコークス炉作業実績を示したが、間接加熱であるため、室炉と同じような副産物が回収可能であることも、本プロセスの一つの特長である。

5. 成形コークスの品質

前述のような工程によって製造した成形コークスの品質は、Table 5 に示したように、普通の高炉用コークスの品質と比較して、同等もしくはそれ以上である。この成形コークスを高炉へ装入するに際し、われわれがとくに注意したのは、成形コークスの熱間摩耗強度と反応性の問題であった。

5-1 熱間摩耗強度の測定

コークスの熱間摩耗強度の測定装置は、今回の試験を始めるにあたり、住友金属工業(株)中央技術研究所において、あらたに設計・製作したもので、装置の概略は Fig. 3 に示すようなものである。すなわち、回転炉は、外径1.5m、外幅1.06m、内径1.05m、内幅0.60mの大きさのもので、内部はハイアルミナレンガ張り、1カ所にコークスかき上げ用の凸部(高さ50mm)がある。炉内の加熱は、水冷式バーナにより行ない、燃料には、プロパンまたはブタンを使用している。コークスの試験条件は、次に示したとおりである。

温 度: 1,000°C (炉内壁面)

回 転 数: 400 回転

回 転 速 度: 6.25 rpm

炉内雰囲気: CO₂ 13~14%, CO 1~2%, O₂ 0%

炉内圧力: +1~2mmH₂O

試料重量: 10 kg

試料粒度: 正常形のもの

5-2 反応性の測定

反応性の測定は、JIS-M 8713 に規定されている鉄鉱石類の還元試験装置を用いた。すなわち、内径 60

mm、長さ 600mm のステンレス製反応管に成形コークス 6 個を入れ、950°C に昇温したのち、90分間 5l/min の流量で CO₂ ガスを90分間反応管内に流したときのコークスの重量減少率をパーセントであらわしたものを反応性とした。したがって、JIS-K 2151 に規定するコークスの反応性試験法による反応性指数とは表示法が若干異なっている。

6. 高炉使用試験

今回、われわれが製造した成形コークスの品質(とくに熱間における摩耗強度)が、通常の高炉用コークスのそれよりも優れていることが確認されたので、昭和46年11月下旬より、京阪煉炭工業(株)大阪コークス工場から住友金属工業(株)小倉製鉄所への成形コークスの輸送を開始した。そして、同年12月10日から同所第2高炉において、成形コークスの装入を開始した。小倉製鉄所第2高炉の概要および成形コークスの使用経過は次に示すとおりである。

〔第2高炉の概要〕

火 入 れ: 昭和44年10月16日

総 内 容 積: 1,350m³

炉 床 径: 8.4m

羽 口 数: 22個

出 鉄 口 数: 2個

装 入 方 法: ベルトコンベア

炉 頂 圧 力: 1.05 kg/cm²

出 鉄 能 力: 最大 3,000t/日

〔成形コークス使用経過〕

第1期試験: 昭和46年12月10日~12月22日 7%

第2期試験: 昭和47年1月3日~1月15日 10%

第3期試験: 昭和47年1月22日~2月4日 20%

第4期試験: 昭和47年2月10日~2月19日 30%

第5期試験: 昭和47年3月15日~3月22日 40~50%

第1期試験では、成形コークスの配合率を1%から7%まで徐々に増加させ、ハンドリング上の問題および炉況への影響を調査したのち、第2期以降の本格的な使用試験に移行した。

高炉操業成績の一例として、成形コークス30%配合および50%配合の結果を Table 6 に示した。この間、羽口破損や炉況の乱れによる減風・減鉄は全くなく、操業はきわめて順調に推移した。Table 6 によると、いわゆる通気性指数($\Delta P/V$)は、30%配合・50%配合のそれぞれの期間で、比較期間に比べ若干上昇しているが、一方、炉況指数(風圧指示曲線の軌跡総長さを理想曲線の軌跡総長さで除した数値で、小倉製鉄所にて常用している指数である。本指数の大なるほど、

Fig. 3 Test equipment for coke strength at high temperature

Table 6 Operating indices of blast furnace

Operating period	Normal base	30% Formed coke	50% Formed coke
Output of pig iron (t/day)	2,827	2,947	2,878
Blast volume (Nm ³ /min)	2,300	2,400	2,300
Enriched oxygen volume (Nm ³ /min.)	20	20	25
Blast temperature (°C)	1,146	1,150	1,150
Blast pressure (kg/cm ²)	1.93	2.18	2.07
Top pressure (kg/cm ²)	0.90	1.00	0.90
Permiability index ($\Delta P/V$)	0.445	0.488	0.501
Ore to coke rate	3.61	3.62	3.80
Sinter content of burden (%)	92.8	93.3	93.7
Number of charge per day	134	140	133
Coke ratio (kg/iron ton)	437	437	424
Heavy oil consumption (kg/iron ton)	62	57	63
Total fuel ratio (kg/iron ton)	499	494	487
Total fuel ratio after correction (kg/iron ton)	499	492	495
Dust in blast furnace gas (kg/iron ton)	8.7	7.6	8.8
Number of slip (times/day)	0.5	0.6	0
Condition index of blast furnace*	1.521	1.540	1.374
Content in iron (%) C	4.47	4.55	4.46
" Si	0.69	0.68	0.61
" S	0.039	0.034	0.032
Content in blast furnace gas (%) CO	22.1	21.6	21.4
" CO ₂	21.0	22.9	21.7
" H ₂	3.2	3.2	3.3
" CO/CO ₂	1.05	0.94	0.99

*Condition index : —

This index is the number divided TOTAL LENGTH of actual locus in blast pressure gauge by TOTAL LENGTH of ideal locus.

In the case that a fluctuation of blast pressure increase, this index becomes grow and grower, therefore, the condition of blast furnace became to deteriorate, it is explained.

炉内の風圧変動が大きく、安定性を欠いていると解釈できる）は、おのおのの期間において、大きな変化はなく、炉内の状況は、全く安定していたことを示している。なお、通気性指数の若干の上昇は、今回の試験に使用された成形コークスの粒度に関係があるものと思われる。高炉ダストの発生量は、全期間にわたり7~9kg/pt とほぼ一定であった。CO ガス利用率については、成形コークス30%配合の期間では、かなり向上しているが、その他の期間では、CO/CO₂ は1.10~0.99の範囲内にあり、大きな変化はなかったと判断している。コークス比や燃料比へのコークスの反応性の差の影響はほとんど認められなかったが、Table 5 に

示すような反応性の差では、あまり問題にしくなくてもよい。

7. 成形コークスの性状変化

成形コークス50%使用試験後の定期休風時を利用して、羽口から成形コークスと通常コークスを取り出し、その形状比較を行なった。羽口から取り出した成形コークスは Photo. 2 に示すように、形は小さくなっているが、通常コークスとの区別が判別ができるほど本来の形状を保っていた。

Table 7 には、羽口成形コークスの形状と重量の変化を示したが、長さ方向の減少よりも、厚みの減少のほうが大きくなっている。

Right : from tuyere Left : before charging

Photo. 2 Formed coke samples

Table 7 Size transformation of fromed coke

	Before charging	Sample from tuyere	Ratio of decrease
Thickness	31.6mm	23.6mm	25.3%
Length	46.5mm	37.2mm	20.0%
Weight	46.9gr.	22.5mm	52.0%

Table 8 Transformation of crushing strength

	Before charging (kg/pc)	Sample from tuyere (kg/pc)
Conventional coke	620	302
Formed coke	800	353

また、Table 8 には、圧潰強度の比較を示したが、このように、羽口レベルまで降下した時点でも、成形コークスの圧潰強度は、通常のコークスのそれを上廻っている。

従来、主に外国で行なわれた成形コークスの高炉使用試験結果を見ると、風圧の著しい上昇・風圧変動の増加・ダスト発生量の増加などが報告されているが、今回の試験では、外国の例にみられるようなトラブル

は全く認められず、通常の高炉用コークスとなんら変わりなく使用できることが判明した。これは、われわれが試験に用いた成形コークスの強度が、通常のコークスよりも高かったことや、反応性が大差なかったことに主な原因があると考えられる。

なお、成形コークス 100% 操業試験については、高炉でのコークス消費量と成形コークスの生産量との間に大きな差があったこと、および、100% 操業を長期間続けるだけのコークスの貯蔵用地が確保できなかったことによって、今回のわれわれの試験では、断念せざるを得なかったが、30~50% 配合試験の結果から判断して、成形コークスの強度・粒度・反応性に留意することにより、十分実施可能であると信じている。

8. 成形コークスの経済性

現在の大阪コークス工場は、中間規模的生産設備であるため、成形コークスの価格は、直接・間接作業費の面で、通常の高炉用コークスの価格よりも割高であるが、炭化室の容積を拡大するとともに、ある生産量以上の設備規模にすることによって、製造コストを通常のコークスなみに低減させることが可能であると考えている。したがって現在、京阪煉炭工業(株)では、

西独 DIDIER-KELLOGG 社と協力して、大型コークス炉の開発検討を行なっている。

9. 結 論

非粘結炭を主原料として、品質の優れた成形コークスの製造が可能となった。この成形コークスを、高炉で使用試験を行ない、通常の高炉用コークスとなんらそんな色なく使用できることを確認した。今後は、成形コークス乾留用の大型コークス炉の検討を行ない、高炉用成形コークスの経済的実用化に努力したい。

文 献

- 1) P. Foch, A. Report of "Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France"
- 2) Z. I. Nekrasov, K. I. Kotov, N. A. Gladkov, M. D. Zhembus & V. F. Gorcharov, Steel in the USSR, 263 (1971)
- 3) Von O. Darmann, S. Henkel & K. D. Haverkamp, Stahl und Eisen, 90, (19), 1009 (1970)

Production of Formed Coke and Trials in Blast Furnace

by K. Sugasawa, N. Nire, K. Tasaka, Y. Sunami
(Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

K. Hino, T. Sakai, N. Abe, M. Shinoda
(Keihan Rentan Kogyo Co., Ltd.)

SYNOPSIS:—The production of a formed coke in excellent quality has been realized in use of a non-coking coal as the main raw materials.

As the result of the experimental use of this formed coke for the No. 2 blast furnace in Kokura Steel Works of Sumitomo Metal Industries, Ltd., it has been proved that it is not inferior to the conventional coke for same.

We intend to study for enlarging coke oven and to make efforts to materialize the economic rationalization of a formed coke for a large blast furnace.