予熱乾留法実炉試験 (Ⅱ)

一部分予熱法試験—

—昭和40年8月23日受理—

石炭技術研究所 佐 藤 春 三
吉 田 晋

I. 緒 言

予熱炭をコークス炉に装入するいわゆる予熱炭乾留法に関する実炉試験は、先に予備試験¹⁾によつて、予熱炭の搬送、湿炭との混合、装入作業などの取り扱いについて試験したが、なんら問題点もなく、実炉操業にとりいれられる見通しを得た。したがつて、今回は予備試験に使用した設備装置をそのまま利用し、当研究所の当初の目的である国内炭活用の立場から、国内炭を多量に配合した高炉用コークスの製造試験、一般炭の配合試験、コークス炉の生産性向上について本試験を実施したので第Ⅱ報として報告する。

この試験においては、前報でのべたように、予熱装置は基礎実験²⁾に使用した流動式予熱炉と異なり、現有のデイスコ法の回転炉を流用した。また試験にはい

わゆる部分予熱法³⁾を採用し、操業中の日常作業においてこんで試験したため、試験用装入炭量が限定されたので、予熱効果を確認する意味から、特に重点的に石炭の配合割合を決定し、実炉への適用性を把握するようつとめた。

一方試験用石炭は基礎実験に用いた同一銘柄を使用する予定であつたが、多量に即時入手することができなかつたことと、操業中の炉に影響をおよぼさないことを前提条件としたので、比較的同品種の石炭を選び、小規模試験によつて予熱効果を確認した後、本試験を実施した。

Ⅱ. 試験設備および装置

前報の予備試験に使用した設備および装置をそのまま利用した。それらの概要を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 Schematic arrangements for Test

番号	名 称
1	デイスコ工場
2	No. 1 フローコンベヤ
3	No. 2 フローコンベヤ
4	No. 3 フローコンベヤ
5	予熱炭パンカ
6	湿炭コンベヤ
7	湿炭パンカ
8	定量供給装置
9	湿炭機
10	No. 4 フローコンベヤ
11	No. 5 フローコンベヤ
12	No. 6 フローコンベヤ
13	石炭塔
14	試験炭パンカ
15	コークス炉
16	装入車
17	秤量機
18	押出機
19	押出ラム
20	ガイドカー
21	消火車
22	コークワーフ
23	コークスコンベヤ

Ⅲ. 試験用石炭

は Table 1 に示す。

1. 銘柄 本試験に使用した石炭の銘柄および性状

Table 1 Qualities of Used Coals

Used Coal	Moisture %	Proximate Analyses %					B. I.
		H ₂ O	Ash	V. M.	F. C.	Total S.	
Vicary Creek Coal	8.0	1.2	9.6	22.6	66.6	0.5	5 ¹ / ₂
Yubari-Tokugo-Bifun Coal	7.2	1.0	5.3	39.0	54.7	0.2	7
Bibai Coal	8.0	2.7	9.5	40.2	47.6	0.3	2 ¹ / ₂

2. 粒度およびかさ密度 試験に使用した石炭の粒度分布を Fig. 2 に、各単味炭の湿分とかさ密度の関係を Fig. 3 に示す。

Fig. 2 Distribution curve of particle size

Fig. 3 Relation of bulk density and moisture

3. 配合割合 試験に使用した装入炭の配合割合を Table 2 に示す。すなわち、試験番号 1~4, 8~11 は弱粘結炭に強粘結炭を 10~40% 配合した常法および弱粘結炭のみ予熱した部分予熱の配合

とし、試験番号 5~7, 12~14 は弱粘結炭の配合量を 60% とし、強粘結炭の配合量を一般炭でおきかえた場合の常法および強粘結炭は予熱しないで配合する部分予熱とした。

Table 2 Mixing Ratio of coals

Treatment	Test No.	Untreated							Partial Preheated						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Coal															
Vicary Creek %		10	20	30	40	10	20	30	10	20	30	40	10	20	30
Yubari-Tokugo-Bifun %		90	80	70	60	60	60	60	90	80	70	60	60	60	60
Bibai %		—	—	—	—	30	20	10	—	—	—	—	30	20	10

Ⅳ. 200mm 流動炉による予熱効果予備試験

現場より当所浮間試験場に試験用炭を運び、内径 200 mm の流動式予熱炉 (処理量 50 kg/h) を使用し、部分予熱試料をつくり、LCT 1 kg 炉および EW

250 型 15 kg 乾留試験炉にてコークス化の後、それぞれのコークス強度を常法と比較して調べた結果は Fig. 4 および Fig. 5 のようである。

Fig. 4 Coke strengths of mixing coals by L.C.T.

Fig. 5 Coke strengths of mixing coals by 15 kg test oven

この試験では、使用した石炭の銘柄は異なるが、基礎実験と同じような結果を示している。たとえば、部分予熱による弱粘結炭 80% と強粘結炭 20% の配合コークスと常法による弱粘結炭 60% と強粘結炭 40% の配合コークスとはほぼ同等のコークス強度となっている。また一般炭を配合した部分予熱では強粘結炭 20% を一般炭におきかえても同様な強度のコークスが得られる結果となっている。すなわち予熱効果は顕著であるが、それらのコークス強度がいずれも高炉用コークスとしての強度、すなわちドラム強度 15 mm 指数で 93 に達していないのは残念である。これは使用した強粘結炭である Vicary Creek 炭がそれほど有効でなかったことと、粒度分布が予定より小さい方に片よっていたため装入かさ密度がそれほど増加しなかったためであると考えられる。

したがって、予熱炭乾留法においては、炭質の検討と、粒度、湿分、およびかさ密度の関係は非常に重要である。すなわち装入炭粒度の変化による湿分とかかさ密度の関係はコッパースハンドブック³⁾やドイツの文献⁴⁾によつても明らかに差のあることが

わかる。それゆえ今回の試験では装入炭の粒度分布が特に重要であることは判明したが、現場の都合上実炉テストを急いだため、やむを得ず詳細な検討を行なわないまま、コークス強度については第二義的に考え、予熱効果に重点をおいて実炉試験にはいることにした。

V. 実炉試験の方法

試験の方法は予備試験に準じて行なつた。一般炭の配合の場合は、一般炭と弱粘結炭とを所定の割合で配合したものをつくり、これを使用した。なお試験炉数は各配合炭につき 2 門ずつ行なつた。

VI. 試験結果

1. 輸送および炭じん 予備試験の場合と同様いずれの試験においてもなら問題点はなく、所定の作業は順調に実施することができた。
2. コークス化試験
 - (A) 弱粘結炭と強粘結炭の配合の場合の常法および部分予熱法のコークス炉試験実績および生成コークスの性状を Table 3 および Table 4 に示す。
 - (B) 弱粘結炭の配合量を 60% とし、強粘結炭の配合量を一般炭で置きかえた場合の常法および部分予熱法のコークス炉試験実績および生成コークスの性状を Table 5 および Table 6 に示す。
3. 炉内炭中および炉頂空間部の温度変化
炉内炭中温度は押出側の炉蓋より炉中心部に長さ 1,500 mm の熱電対をそう入し、炉底より 250 mm 上および 1,200 mm 上の個所を測定した。それらの温度上昇状況はそれぞれ Fig. 6 および Fig. 7 に示す。

Fig. 6 Temperature curve of coal in ovens, 250mm above oven sole

Table 3 Results of Coke Oven test

Treatment	Untreated						Partial Preheated					
	1	2	3	4	8	9	10	11	10	9	8	7
Test No.	28	33	35	12	30	32	11	16	20	25	10	15
Mixing Ratio %	10	20	30	40	10	90	30	40	20	80	20	30
Yubari Toku-Bi	90	80	70	60	90	90	70	60	80	70	80	60
Charged oven No.	7.4	7.7	7.9	7.5	7.5	7.3	7.9	7.8	0	0	0	0
Moisture %	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	0.8	0.9
Proximate Analyses %	5.9	6.3	6.6	6.5	7.0	6.4	7.2	7.6	6.5	5.9	6.3	6.9
	37.5	37.9	35.8	36.1	33.7	34.1	32.4	33.3	37.2	37.8	36.0	33.1
V.M.	55.6	54.9	56.7	56.5	58.3	58.5	59.5	58.1	55.4	55.3	56.2	59.1
F.C.	7.493	7.618	7.660	7.494	7.671	7.525	7.715	7.646	7.912	8.101	8.153	7.891
Charging Weight wet base t	0.715	0.727	0.731	0.715	0.732	0.718	0.736	0.720	0.755	0.773	0.774	0.753
Bulk Density wet t/m ³	6.864	6.962	6.986	6.865	7.009	6.690	6.976	6.972	7.642	8.020	8.071	7.860
Charging Weight dry base t	0.654	0.664	0.666	0.652	0.668	0.658	0.664	0.664	0.728	0.763	0.768	0.747
Bulk Density dry t/m ³	16°10'	16°00'	16°10'	16°00'	16°30'	16°20'	15°50'	16°10'	15°25'	15°10'	15°40'	15°30'
Coking time	1,218	1,220	1,230	1,235	1,224	1,216	1,230	1,222	1,215	1,200	1,222	1,218
Coking Temp. °C	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Coke pushing Resistance Amp	~170	~180	~150	~130	~150	~140	~130	~140	~130	~150	~170	~160
Weight of Coke dry t	9,388	9,885	9,805	10,182	10,680	11,040	11,323	11,344	71.3	69.3	68.2	72.6
Yield of Coke dry %	67.9	69.2	70.5	73.0	68.2	69.3	71.3	72.6	71.3	69.3	68.2	72.6

Table 4 Results of Coke quality tests

Treatment		Untreated								Partial Preheated							
Test No.		1	2	3	4	8	9	10	11								
Mixing Ratio %	Vicary Creek	10	20	30	40	10	20	30	40								
	Yubari Toku-Bi	90	80	70	60	90	80	70	60								
Charged oven No.		28 33	35 12	30 32	11 16	20 25	10 15	21 16	13 18								
Micum Strength %	M40	39.2 41.9	48.3 46.8	52.7 56.4	60.4 62.8	43.4 46.2	49.2 52.9	58.2 56.2	63.0 64.8								
	M10	11.6 12.8	9.7 10.4	9.6 8.5	8.3 8.4	9.7 10.2	9.2 7.6	7.2 8.3	7.8 7.4								
Drum test Coke Strength %	>50mm	19.5	26.9	33.4	36.7	28.4	34.0	38.3	42.5								
	>25	69.8	77.1	80.4	84.2	78.5	81.0	85.5	88.6								
	>15	84.5	87.4	89.2	90.5	88.6	90.4	91.8	92.9								
Tumbler test %	>25mm	61.8	68.4	72.3	74.5	70.6	74.8	76.8	79.2								
	>6	83.1	83.7	84.0	85.1	85.0	85.2	85.9	87.1								
Proximate analyses %	Ash	9.1	9.5	9.8	10.7	8.9	9.3	10.3	10.7								
	V.M.	1.5	1.4	1.5	1.1	1.9	1.3	1.7	1.3								
	F.C.	89.4	89.1	88.7	88.2	89.2	89.4	88.0	88.0								
Lump Coke front of oven >25 mm %		95.6	93.1	94.9	96.9	96.9	96.8	93.9	98.7								
(Reference)																	
Coke Strength >15 mm %		85.6	87.7	89.5	90.2	90.1	91.7	92.4	92.5								
by 15kg test Oven

Fig. 7 Temperature curve of coal in ovens, 1,200mm above oven sole

Fig. 8 Temperature curve in the gas collecting space above the coal charge

また炉頂空間部の温度は装入孔 3 ケのうち押出側の装入孔（上昇管は押出側）より同空間部の中央に熱電対をそう入し温度変化を測定した。その結果を Fig. 8 に示す。

Ⅶ. 考 察

1. 装入炭量およびかさ密度

本試験においては、極端なかさ密度の増加によるコークス炉への影響はさけることにしたため、常法かさ密度に対し、部分予熱では約 10% あまり増加した結果となっている。したがって装入量においては約 15% 増加している。しかも炭化時間は部分予熱の方が約 30 分ほど短縮されている。これらのことはいわゆるコークス炉の生産性をあらわす（装入密度 dry）÷（炭化時間）の表現法⁹⁾からみれば、約 20% 増となっていて、明らかにコークス炉の生産性ははなはだしく向上していることがうかがわれる。さらにコークス炉としてかさ密度の限界点といわれている 53 lb/ft³ (0.8488g/cm³) 近くま

Table 5 Results of Cokeoven test

Treatment		Untreated						Partial Preheated					
Test No.		5		6		7		12		13		14	
Mixing Ratio %	Vicary Creek	10		20		30		10		20		30	
	Yubari Toku-Bi	60		60		60		60		60		60	
	Bibai	30		20		10		30		20		10	
Charged oven No.		24 31		20 33		12 35		23 20		19 24		13 18	
Moisture %		7.4	7.2	7.3	7.6	6.8	7.4	0	0	0	0	0.9	1.0
Proximate Analyses %	H ₂ O	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.0	1.1	1.2	1.0	1.2	1.2
	Ash	7.9	7.6	7.6	7.8	7.7	7.9	7.9	8.1	7.6	7.9	8.2	7.8
	V. M.	38.1	37.8	36.2	35.6	34.8	34.5	37.5	36.9	35.2	36.0	34.2	33.8
	F. C.	52.8	53.3	54.9	55.4	56.3	53.6	56.3	53.9	56.0	55.1	56.4	57.2
Chaging weight wet base t		7,577	7,525	7,451	7,640	7,461	7,672	7,912	8,080	8,048	7,954	7,944	8,069
Bulk Density wet t/m ³		0.723	0.718	0.711	0.729	0.712	0.732	0.755	0.771	0.768	0.759	0.758	0.770
Charging weight dry base t/m ³		6,925	6,885	6,810	6,967	6,864	7,004	7,833	7,991	7,951	7,874	7,777	7,891
Bulk Density dry t/m ³		0.662	0.657	0.651	0.665	0.656	0.670	0.748	0.762	0.758	0.751	0.742	0.754
Coking time		16°55'	16°20'	16°20'	16°50'	16°50'	16°40'	15°10'	15°30'	15°45'	15°15'	15°40'	15°50'
Coking Temp. °C		1,210	1,215	1,224	1,216	1,213	1,218	1,213	1,215	1,226	1,214	1,244	1,220
Coke Pushing Resistance Amp		100 ~140	90 ~140	100 ~130	100 ~120	100 ~150	100 ~130	100 ~160	90 ~140	100 ~160	100 ~140	100 ~150	90 ~150
Weight of Coke dry t		9,300		9,424		9,666		10,680		10,920		10,990	
Yield of Coke dry %		67.3		68.4		69.7		67.5		69.0		70.2	

Table 6 Results of Coke Quality tests

Treatment		Untreated						Partial Preheated					
Test No.		5		6		7		12		13		14	
Mixing Ratio %	Vicary Creek	10		20		30		10		20		30	
	Yubari Toku-Bi	60		60		60		60		60		60	
	Bibai	30		20		10		30		20		10	
Charged oven No.		24 31		20 33		12 35		23 20		19 24		13 18	
Micum Strength %	M4	38.6	37.9	44.3	47.2	52.4	55.9	46.2	44.9	50.5	53.8	55.7	58.9
	M10	14.8	14.3	11.0	12.3	10.8	8.5	9.8	11.2	8.6	7.8	8.0	7.2
Drum test Coke Strength %	>50mm	17.1		24.8		31.9		33.1		37.7		42.0	
	>25	63.3		75.0		80.3		82.0		85.8		88.3	
	>15	81.7		86.7		88.9		89.8		91.6		92.5	
Tumbler test %	>25mm	56.0		67.2		70.5		72.1		77.5		80.2	
	> 6	75.8		79.6		82.7		80.3		83.9		85.5	
Proximate Analyses %	Ash	11.7		10.8		11.5		11.8		11.2		11.4	
	V. M.	2.2		1.5		2.0		1.5		1.6		1.1	
	F. C.	86.1		87.7		86.5		86.7		87.2		87.5	
Lamp Coke front of oven >25mm %		92.7		94.2		96.7		94.7		96.9		97.4	
(Reference) Coke Strength >15mm % by 15kg test oven		85.5		87.7		89.8		90.3		91.7		92.3	

でかさ密度をあげるよう調整すればさらに生産性の向上は期待される。

2. コークス強度 部分予熱法によるコークスは常法のコークスに比し、マイカム強度、潰裂強度、タンブラー強度のいずれも増加していることがわかる。コークス強度からいえば、予熱弱粘結炭に強粘結炭を 20~30% 配合したコークスは、常法の強粘結炭 40% 配合のコークス強度に匹敵し、また強粘結炭 40% のうちその半量を一般炭におきかえ部分予熱法を採用すれば同様の強度のコークスが得られることがわかる。これらのことは予備実験によつてたしかめていた結果と同様の傾向であるが、かさ密度の増加がやはりそれほど大きくなかつたため、高炉用として使用できるほどのコークス強度を示さなかつたのは残念であつた。
3. 押出抵抗 炉によりそれぞれ押出抵抗は異なるけれども、常法と部分予熱法とでは特に差はみとめられない。
4. コークスの性状 コークスの工業分析値その他コークスとしての性状は予熱法によつてとくに変化はみとめられない。
5. 炉内炭中温度 炉中心部における炭中温度の上昇状況は常法に比し、100°C 以上に上昇する時間は予熱炭配合の方が早いにもかかわらず、それ以後の上昇状態はゆるやかになつていく。これは湿分の減少に応じて熱伝導の状況が変つていくことを示しているものと考えられる。また装入直後の温度変化は湿分の影響によるものであろう。
6. 炉頂空間部温度 常法の場合は水分の影響があるため不規則な温度変化を示すが、湿分の減少にともない予熱炭配合の場合は単なるガスの発生だけのようになり割り合いスムーズな曲線を描くようである。したがつて副産物の生成率に影響をおよぼすような温度変化は特にないものと考察される。

VIII. 今後の研究課題

過去3ケ年半にわたり、基礎実験より実炉試験に至る一連の予熱炭乾留法に関する試験を実施してきたが、結論的には所期の目的を達成したものと考えている。しかし現在までの試験結果から未解決の問題点がいくつか残されていることが反省される。これらについては今後の研究課題として取り組んでいくつもりであるが、以下これらについて略述する。

1. かさ密度に関する研究

予熱炭乾留法において粘結炭のコークス強度が

上昇するのは主としてかさ密度の増加によるものであるが、かさ密度の増加はコークス炉の大型化にともない構造上に限界があるし、また押し出し困難をおこす原因にもなる。かさ密度の変化に影響をおよぼす因子は、(1) 湿分 (2) 粒度 (3) 炭質である。さらにかさ密度の増加は膨張圧の増加となり、コークス炉にとっては致命的な破壊現象をもたらすことさえある。現在のコークス炉においては、かさ密度の限界点は 0.85 g/cm^3 といわれ、また膨張圧の限界は 0.8 g/cm^3 のかさ密度の時 0.14 kg/cm^2 といわれている。また強粘結炭などでは二次圧が問題だとされている。したがつて予熱炭乾留法を採用するに当つては代表的炭種についてこれらの関係を十分検討しておかなければならない。

2. 予熱効果の機構解明に関する研究 (I)

同じ粘結炭でも常法と予熱法によつて、同じかさ密度でコークス化を行なつても、予熱法の方がコークス強度が高くなり、また炭種によつてはふん囲気や温度が非常に影響をおよぼし、あるいはまた予熱炭放冷後のコークス化性に変化のあることから、単にかさ密度の増加だけがコークス化性向上に寄与しているとは考えられず、炭質的に変化があるものか、あるいはまた水分が影響するものかなどよくわかつていない。炭質の変化があるものならば、予熱温度、ふん囲気などに対する炭質変化を追求しなければならず、水分の影響ならば予熱でなく単に乾燥のみで十分であるとも考えられるので、これらの関係についてさらに深く検討する必要がある。

3. 予熱効果の機構解明に関する研究 (II)

現在高炉用コークスの製造には強粘結炭は約 50% 配合している。予熱炭乾留法を採用すればその 10~20% を微粘結炭または非粘結炭である一般炭とおきかえることが可能である。このことは国内炭活用の立場から、この試験の一つの目的であつたが、予熱法を採用すれば何故一般炭の配合が可能となるかはまだ明らかでない。したがつて弱粘結炭の予熱効果とともに一般炭の予熱効果についても検討する必要がある。

4. 予熱効果の副産物におよぼす影響に関する研究

予熱炭の研究において、諸外国では予熱方法に種々の方法が採用され、その乾留時生成する副産物およびコークスの量が常法に比して変化があり、また質的にも変化があるとされている。炭種

や試験方法が異なるので、それらの増減についてははっきりした結論はひきだされていない。したがってわが国で予熱法を実炉に採用した時、現在用いている炭種について量および質的にいかなる変化があるかについて検討を行なつておく必要がある。

5. 予熱炭装入法に関する研究

予熱炭の装入にあつて、石炭が流体化しているため、その作業が非常に簡易化される。したがって現在アメリカにおいて試験中のパイプチャージ方式が採用できる。その場合予熱炭のキャリアガスとしてスチーム、COGが考えられるが、化学工学的な考察と高温のコークス炉への接続に関する機構について研究試験しパイプチャージ方式のわが国における実用化をはかる必要がある。また他の方式による装入法の開発も検討してみる必要がある。

6. 予熱炭のオイリングに関する研究

予熱炭処理において炭じんの発生をおさえることはなにをにおいても重要なことである。運搬には密閉式のフローコンベヤやパイプ輸送が有効であるが、混炭の場合のようにオープンの場合での炭じんの放散は避けられない。これを防ぐ方法としてオイリングを行なう方法がある。これは炭じん防止と装入かさ密度の調整に役立つもので有効のようである。したがってオイリングについて検討を行なうとともにコークス炉や副産物におよぼす影響などについて検討する必要がある。

IX. 結 論

予熱炭乾留法について実炉による予備試験にひきつづき、今回は強粘結炭と弱粘結炭、および強粘結炭を一般炭に一部おきかえた部分予熱法に関する実炉試験を実施した。ただ原料炭の入手が不如意であつたことと、操業中のコークス炉に悪影響をあたえてはならない配慮から、炭種を選定し、配合割合を定め、かさ密度も最高 0.8 g/cm^3 までとして試験した。それでも予熱効果は明らかにあらわれ、コークス炉の生産性は向上し、強粘結炭の配合量は 30% 以下でよく、国内炭を多量に使用して強度の高いコークスが得られた。また一般炭も 10~20% は混炭可能であることもたしかめることができた。これら実炉試験により、わが国においても予熱炭乾留法または乾燥炭乾留法は実施可能であるとの見通しと確信を得た。今後は残された問題点についてきめの細かい試験研究を行なっていくつもりである。

本試験にあたり、全面的に協力を賜つた北海道炭鉄汽船K. K. の各位に深甚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 佐藤春三, 吉田晋, 燃協誌, 44, No. 456, 239~44 (1955) [4.21]
- 2) 吉田晋, 第39回コークス特別会にて講演, 昭 45.
- 3) Koppers Handbuch der Brennstoff-technik, p. 199, (1953) [(1930)]
- 4) Anon; Archiv für das Eisenhüttenwesen, 147
- 5) J. D. Doherty et al.; Blast furnace & Steel Plant, 1251, March (1962)

Test of the Preheating Carbonization Process at a Coke Oven (II)

by Haruzo Sato & Susumu Yoshida

(Coal Mining Research Center, Japan)

SYNOPSIS:— This report described the results of preheated coal carbonization test on a commercial coke oven, and we used experimental arrangements of our previous report.

Used coals were following,

weakly coking coal.....Yubari-Tokugo-Bifun coal (Japan)

slightly coking coal.....Bibai coal (Japan)

strong coking coal.....Vicary Creek coal (Canada)

For this test we based on partial preheating method, that was, preheated weakly coking coal and slightly coking coal, but strong coking coal untreated.

Results of this test, mixing weight of strong coking coal should be sufficient by half, comparing with untreated charging coal by same blending ratio, and we obtained same coke strength.

Then it could be substituted with slightly coking coal. On the other hand, throughput of coke oven improved about 20% by increasing bulk density and shortening coking time.

We recognized a possibility to introduce the preheating process for full scale coke oven without any troubles.