

高炉用炭素レンガの使用後性状と損耗機構*

大庭 宏**・平櫛敬資***・谷山光哉***

On Properties and Wear Mechanism of Carbon Bricks for Blast Furnace

Hiroshi OHBA, Keisuke HIRAGUSHI and Mitsuya TANIYAMA

Synopsis:

Application of carbon blocks to blast furnace bottom initiated in 1951 at Yawata. Since then, troubles of bottom linings have decreased prominently and total iron production of a furnace has increased.

At Yawata, six carbon bottom furnaces have been blown out up to today and properties of used carbon blocks have been investigated. As the results, it is found that carbon blocks absorb considerably large amounts of foreign components, especially molten iron before wear proceeds, resulting in disintegration of brick texture, strength lowering, pore enlargement, crack formation and shrinkage. These property changes were considered to accelerate wearing rate of carbon blocks. From the investigation of used carbon blocks, the wear mechanism of carbon blocks is discussed in relation with carburization, oxidization, floatation and so on. To reduce the degree of property alteration, the authors have studied on improvement of carbon block quality and found anthracite superior to metallurgical coke in high temperature stability and alkali attack resistance. At Yawata, anthracite base carbon blocks are adopted and trouble-free operation is established since 1966.

(Received Mar. 29, 1968)

1. 緒 言

高炉炉底部ライニングは炉寿命を決定する重要な部分で、過去多くの炉底トラブルの原因となっていたが、昭和 26 年、当所において炉底レンガをシャモットから炭素に切りかえることによつて、操業の安定化と炉底事故の著しい減少が達成された。しかしながら、近年出鉄能力の向上とともにライニング侵食条件が苛酷となり、炉一代の出鉄量は増加しても炉の耐用期間は短縮する傾向があり、ライニング材質および炉構造の改良によつて炉寿命を延長させることが要望されている。

八幡製鉄所においては現在まで 20 基の高炉に炭素レンガを使用し、そのうち 6 基を改修した。そのさい、残存レンガの性状調査によつて損耗機構の解明研究を行なってきた^{1)~4)}。高炉一代の寿命は 5 年以上の長期間にわたるため、現在までの改修は冶金コークスベースの炭素煉瓦に限定されるが、解体煉瓦性状およびその侵食機構の考え方を以下に紹介して、今後の高炉レンガ構造改善の参考資料にしたい。

2. 炭素レンガの品質

炭素レンガは使用原料によつて炭素質、天然黒鉛質、人造黒鉛質に大別され、高炉炉底には炭素質が一般に使用される。炭素質においても原料炭の種類によつて冶金コークス質、石油コークス質、無煙炭質などに分類され

るが、八幡製鉄所では昭和 26 年における炭素炉底導入以来、東田第 6 高炉(5 次)を除き、冶金コークス質を使用してきた。

冶金コークス質レンガの特徴は、冷間強度大きく、緻密で、切削加工性がよいことである。Table 1 に八幡で使用してきた炭素レンガの品質を示したが、最近の傾向として、低灰分、高炭素含有量のいわゆる高純化があげられる。冶金コークス原料は多孔質で比較的反應性に富むため熱間容積安定性および耐アルカリ性小さく、たんなる高純化ではレンガ品質の改良は期待できない。熱間容積安定性と化学反応性、とくに耐アルカリ性を改善する方法を検討した結果、緻密な原料、たとえば無煙炭、人造・天然黒鉛を主原料として、高温焼成すればよいことが判明し、国内カーボンメーカーの協力によつて無煙炭ベースレンガの高炉使用研究を行なつた。その結果、熱間容積安定性、耐アルカリ性が著しく改善された無煙炭質レンガが開発され、戸畑第 1 高炉(2 次)以降に使用している。なお、このレンガは一般品質は従来品と変わらず、上記特性と熱伝導率が向上している。

熱間容積安定性は通常再加熱線変化率で表わされるが熱膨張曲線における熱間収縮率と再加熱変化が相関関係

* 昭和 42 年 10 月 本会講演大会討論会にて発表
昭和 43 年 3 月 29 日 受付

** 八幡製鉄(株)八幡製鉄所技術研究所 工博

*** 八幡製鉄(株)八幡製鉄所技術研究所

Table 1. Quality of carbon blocks used at Yawata up to date²⁾.

Date	Blast * furnace	Props.												
		Bulk density	App. density	True density	App. porosity (%)	Closed porosity (%)	True porosity (%)	Comp. strength (kg/cm ²)	Bend. strength (kg/cm ²)	Moisture (%)	Ash (%)	V. M. (%)	Fixed C. (%)	S (%)
1951. 3	K 3 (3)	1.68	1.89	1.97	11.0	3.8	14.8	457	194	1.62	12.28	4.93	81.17	0.36
1951. 12	H 6 (5)	1.59	1.90	—	16.2	—	—	335	—	—	—	—	—	—
1952. 12	K 4 (3)	1.64	1.91	1.98	15.5	3.1	18.0	—	—	1.39	17.69	6.25	75.66	—
1955. 6	K 1 (4)	1.64	1.97	2.00	17.0	1.0	18.0	445	99	0.23	8.25	3.19	88.33	0.49
1955. 12	K 3 (4)	1.64	1.97	2.01	14.9	2.0	16.9	456	197	0.07	5.61	2.16	92.16	0.28
1956. 3	H 4 (7)	1.60	1.91	1.95	16.4	1.6	18.0	434	140	0.10	6.37	3.25	90.28	0.42
1956. 6	H 5 (6)	1.60	1.93	1.97	17.6	1.7	19.3	572	105	0.24	5.37	4.14	90.25	0.35
1956. 10	K 2 (5)	1.62	1.94	1.94	16.2	2.0	18.2	545	105	0.26	3.13	4.42	92.19	0.20
1959. 9	T 1 (1)	1.60	1.92	1.93	16.6	0.6	17.2	377	83	0.72	6.25	2.16	91.03	0.27
1962. 3	T 3 (1)	1.59	1.93	1.96	18.5	2.1	20.7	447	114	0.14	5.78	1.09	92.99	0.14
1962. 8	H 1 (1)	1.59	1.93	1.95	15.6	0.8	16.5	394	86	0.03	5.11	1.13	93.73	0.17
1965. 4	K 2 (6)	1.60	1.91	1.97	16.2	2.3	18.5	390	127	0.04	6.97	0.80	92.19	0.04
1965. 6	S 1 (1)	1.57	1.91	1.95	17.9	1.7	19.6	392	91	0.07	4.39	0.72	94.82	0.11
1965. 12	K 3 (5)	1.62	1.9	1.95	15.9	1.0	16.9	545	128	0.12	5.24	1.05	93.59	0.32
1966. 11	T 1 (2)	1.57	—	1.93	—	—	18.8	560	168	0.15	1.82	0.85	97.07	—

* K : Kukioka, H : Higashida, T : Tobata, S : Sakai, () : Campaign

Table 2. Physical properties of anthracite base blocks made in overseas.

Brand	U.S.A.			Britain						Germany			Russia
	U.C.C. (D)	U.C.C. (NMA)	G.L. (KFF)	Carbiox (Std.)	Carbiox (K)	Carbiox (A)	H.Foster (Std.)	H.Foster (A)	H.Foster (AB)	Siemens (B18N)	Siemens (B18S)	Didier (Carbural)	
Bulk density	1.50	1.69	1.54	1.46	1.53	1.64	1.40	1.48	1.59	1.51	1.59	1.53	1.55 ~1.65
App. density	—	1.94	—	1.90	1.95	1.89	1.96	1.82	1.91	1.86	1.86	1.83	—
App. porosity* (%)	(18.0)	12.8	(21.7)	23.2	21.5	12.6	28.4	18.4	16.7	18.8	14.3	16.5	15~18
Compr. strength (kg/cm ²)	205	462	140	626	388	1323	581	219	143	306	580	343	250 ~300
Bend. strength (kg/cm ²)	105	138	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* () True porosity

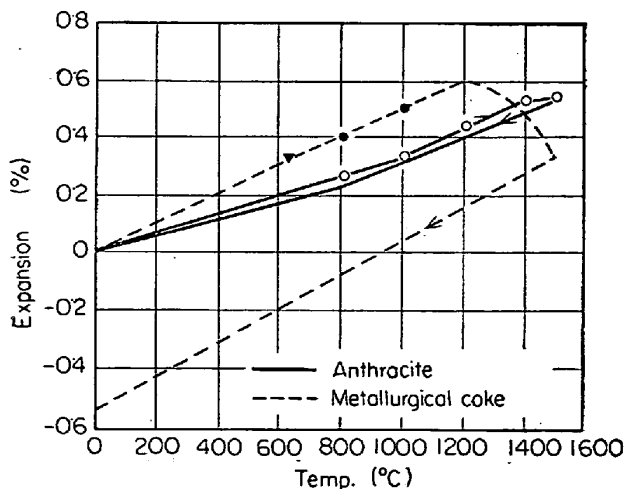


Fig. 1. Thermal expansion of carbon blocks.

炭ベースレンガの熱間収縮率はほとんど零である (Fig. 1).

欧米とくに米国では、高炉基数が多いため、早くから炭素原料の問題に着目し、各種レンガの実用テストを行なった結果、石油コークスペースは耐酸化性、耐アルカリ性が劣り不良であること、無煙炭ベースレンガがよいことが見い出されている³⁾。無煙炭ベースレンガにおいても、原料炭品質、焙焼条件、バインダー、粒度などによってその性質はかなり相違するが、一般に国内メーカー製は欧米よりも優れていると考えられる。

わが国における無煙炭ベースレンガの使用実績は少ないが、八幡東田第6高炉(5次)で昭和26年から10年7カ月使用した炉底の損耗が小さく、稼働面近くの無煙炭が変化していなかったことから、前述の実験室における無煙炭レンガの評価は妥当なものと考えられる。

にあるため、八幡では熱膨張を使用している。前述の無煙

Table 3. Physical properties of used carbon blocks.

Area	Bottom center			Bottom wall			Lower hearth			Upper hearth		
Blast furnace	K.No 4 (3rd)			H.No 6 (5th)			K.No 4 (3rd)			K.No 3 (4th)		
Specimen*	I	C	O	I	C	O	I	C	O	I	C	O
Bulk density	—	1.92	—	1.74	1.65	1.54	1.92	1.86	1.94	1.83	1.66	1.91
App. density	—	2.19	—	2.07	2.09	2.16	2.10	2.09	2.12	1.93	1.95	1.91
True density	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.04	2.02	1.93
App. porosity (%)	—	12.4	—	16.1	21.0	28.8	8.5	11.0	8.4	4.9	15.0	7.7
Closed porosity (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.7	2.8	1.0
True porosity (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.6	17.8	8.7
Water absorption (%)	—	6.5	—	9.2	12.8	18.7	4.4	5.9	4.3	2.7	9.0	4.3
Comp. strength (kg/cm ²)	425	408	304	211	285	178	1043	927	903	795	384	528
Bend. strength (kg/cm ²)	159	83	210	—	—	—	271	273	232	—	—	—

* I : Inner wall, C : Center wall, O : Outer wall

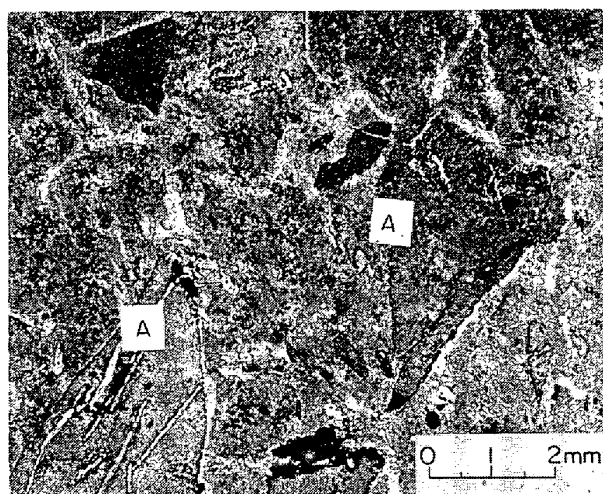


Photo. 1. Microstructure of carbon block used more than 10 years in blast furnace bottom — reflected light. (A : Anthracite)

(Photo. 1).

3. 使用後レンガ性状

八幡製鉄所において現在まで改修された6基の炭素炉底高炉の炭素レンガの使用後性状を調査した。試料採取位置は必ずしも一定していないが、試料は、炉底中央、炉底周辺、湯溜下部、湯溜上部に使用位置によつて分類される。使用後レンガ性状調査は稼働面から鉄皮側に向けて10~50 mm長さに細分割して行なつた。現在までの試験データのうち、使用位置別に代表例をあげて高炉各部の性状変化について論ずる。

3.1 物理的性質 (Table 3)

比重、気孔率および強度を、また、一部については熱膨張を測定した。使用前に比べると、気孔率減少、強度増加の緻密化が認められる。部位別には、湯溜部の緻密化が著しく、炉底部は、高温、溶銑の静圧下にもかかわらず使用前と大差ない試料がある。気孔率低下は見かけ

気孔の減少によるもので、密封気孔の増加は小さい。外来成分とくに金属質溶融物の侵入によつて比重が3以上に増加している試料もある。比重気孔率の数値には表われていないが、稼働面側試料には表面に平行な亀裂が発生し、亀裂は銑鉄、スラグ、アルカリなどの外来成分で充填されていた。このような部分の熱膨張率は大きくかつ熱間収縮が大きく容積安定性が劣っていた。

3.2 化学組成 (Table 4)

工業分析および灰分の全分析を行なつた。使用前に比べると、固定炭素の減少、灰分、揮発分の増加が注目される。灰分の増加は、鉄分およびアルカリとくにK₂Oの増加が主原因となつている。一般に炉底中央および周辺部では鉄分が、湯溜部ではアルカリの増加が著しい。大型高炉の戸畑1高炉(1次)の場合は例外で、炉底周辺部においてアルカリの増加が鉄分の増加よりも多かつた。

3.3 鉱物組成

粉末法X線回折によつて、炭素の黒鉛化と黒鉛以外の鉱物同定を行なつた。また、一部の試料については反射光顕微鏡観察を行なつた。黒鉛化は(002)面回折線の面間隔から黒鉛化度を、半価幅から結晶子を算出して判定したが、炉底中央の黒鉛化は90%以上で著しく進行していることがわかつた。湯溜部でも黒鉛化度70~80%以上の試料が多く稼働面側ほど黒鉛化が著しい。黒鉛以外の結晶として、マグネタイト(Fe₃O₄)、セメントタイト(Fe₃C)、α鉄、カルシライト(K₂O·Al₂O₃·2SiO₂)、炭酸カリ(K₂CO₃)、ゲーレンナイト(2CaO₂·Al₂O₃·SiO₂)、チタン酸カルシューム(CaO·TiO₂)、酸化亜鉛(ZnO)を同定したが、化学成分の項でも触れたように炉底部では銑化合物が、湯溜部には、アルカリ化合物が多かつた。顕微鏡観察によると、炉底部試料では溶銑が拡大した気孔を通つてかなり深部まで侵入し、とくに炉底部中央ではレンガ組成が破壊され50%以上の銑鉄の侵入をうけ

Table 4. Chemical analyses of used carbon blocks.

Area		Bottom center			Bottom wall			Lower hearth			Upper hearth		
Blast furnace		K. No 4 (3rd)			N. No 6 (5th)			K. No 4 (3rd)			K. No 3 (4th)		
Specimen		I	C	O	I	C	O	I	C	O	I	C	O
Tech. analyses (%)	V.M.	0.00	2.68	3.72	4.30	5.78	3.70	5.81	2.32	2.95	1.01	1.00	5.29
	Ash	78.41	15.51	15.14	19.97	18.53	15.60	37.42	16.89	10.61	11.21	6.93	6.09
	F.C.	19.92	81.32	79.97	75.07	75.09	80.24	56.18	79.96	85.84	87.78	92.07	88.62
Ash components (%)	SiO ₂	24.66	13.45	22.76	14.40	16.68	18.84	—	27.68	21.14	23.88	41.68	43.92
	Al ₂ O ₃	3.19	8.31	34.63	5.08	6.83	7.32	—	12.95	14.76	11.53	21.27	19.85
	Fe ₂ O ₃	69.31	67.64	36.03	75.27	68.93	66.29	—	59.28	51.17	8.78	11.18	12.38
	MnO	0.76	0.40	1.86	0.73	1.51	1.21	—	tr	2.18	0.47	0.24	0.19
	CaO	3.53	0.09	2.44	1.51	2.77	2.52	—	3.44	2.52	3.92	4.90	5.18
	MgO	1.19	2.16	0.84	0.29	0.42	0.48	—	1.22	1.23	0.72	1.26	1.44
	TiO ₂	6.10	1.68	0.69	0.65	0.54	0.84	—	0.70	0.51	0.84	1.45	1.47
	Na ₂ O	0.06	0.46	0.93	0.08	0.13	0.04	—	—	—	2.30	1.54	2.30
	K ₂ O	0.25	0.53	0.97	0.46	0.72	0.29	—	1.60	2.28	45.75	13.70	11.00

Table 5. X-ray diffraction of used carbon blocks.

Area		Bottom center			Bottom wall			Lower hearth			Upper hearth		
Blast furnace		K. No 4 (3rd)			H. No 6 (5th)			K. No 4 (3rd)			K. No. 3 (4th)		
Specimen		I	C	O	I	C	O	I	C	O	I	C	O
Graphitization (%)		95	95	95	44	38	4	85	82	—	74	74	74
Graphite crystallite (A)		210	150	140	63	62	73	115	80	—	131	96	86
Magnetite *		+	—	++	++	+	+	++	—	++	—	+	—
Kalsilite *		—	—	—	—	—	—	—	—	—	++	+	—

* Peak intensity : +++ Strong, ++ Medium, + Weak, —None

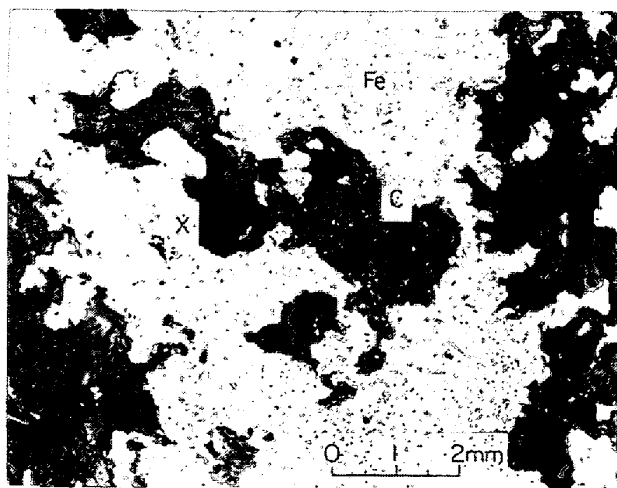


Photo. 2. Microstructure of carbon block disintegrated by iron penetration—reflected light.
(C : Carbon, Fe : Iron, X : Pore)

ている部分が発見された(Photo. 2).

4. 炭素煉瓦の損耗原因と損耗機構

解体時残存煉瓦の性状調査によつて、炭素煉瓦がかなり変質していることが明らかである。その性状変化の主

なるものは、①炭素の黒鉛化、②緻密化、③外来成分による亀裂発生、④酸化および外来成分侵入による灰分の増加、⑤外来成分との反応による新化合物の生成で、これらの変質は炭素煉瓦の侵食過程を示しているものと考えられる。

これらの変質より炭素煉瓦の損耗原因を考察すると、①侵入溶銹との反応、溶解、②気相酸化、③浮上分離、④摩耗が主なるもので、⑤黒鉛化、焼結による収縮、⑥外来成分との反応による変質は、間接的に損耗原因となるものと考えられる。

4.1 侵入溶銹との反応、溶解

溶銹は煉瓦目地および50μ前後以上の気孔に侵入し、セメント (Fe₃C) を生成するとともに溶銹に溶解するものと考えられる。

一般に溶銹に対する黒鉛の溶解度は温度とともに直線的に上昇し、H. SCHENCK その他の研究者によつて

$$C(\%) = 1.52 + 2.39 \times 10^{-3} t (\text{°C})$$

と報告されている⁶⁾。また炭素の溶銹に対する溶解速度は溶銹の炭素未飽和度に比例するといわれているが⁷⁾、筆者らの行なつた実験によれば、炭素含有量2~4%の

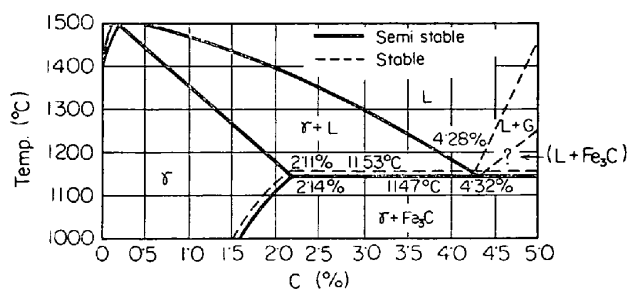
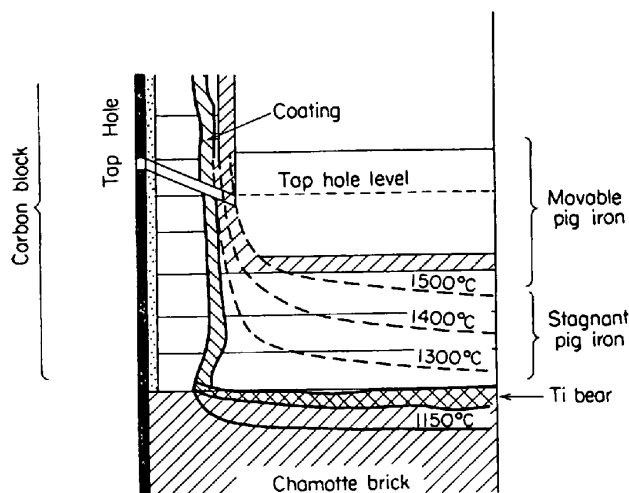
Fig. 2. Phase diagram of system Fe-C⁶⁾.

Fig. 3. Presumed temperature distribution of carbon bottom.

溶鉄による炭素煉瓦の溶解速度は、溶鉄中炭素含有量より温度の影響が非常に大きくさいている。

これは高炉湯溜部炉壁の侵食が外部を水冷されているため非常に小さく、炉底部は冷却効果が小さいため、とくに中心部で大きい現象が証明していると考えられる。したがって炭素煉瓦の侵食曲線は鉄鉄の凝固温度線に一致するとされ⁹⁾、鉄鉄の凝固温度 1150°C の等温線が炭素煉瓦の侵食最終点という考え方から (Fig. 2 参照)、炉底部とくに温度が最も高くなる中心部を冷却する必要性が最近強調されている^{9)~13)} のは合理的であると考えられる。この関係を模式的に示すと Fig. 3 のようになる。したがって溶鉄による溶解防止に冷却法はすこぶる重大な意味をもつ。

これらは滞留溶鉄が炭素未飽和であるとの仮定にたっているが、当所で解体時羽口付近より採取した鉄鉄の C が 2.5~3.1% であり、炉底部目地内侵入鉄鉄の C が 3.3~3.4% であつた例から、炉底部沈降鉄は炭素未飽和の場合が多いと考えられ、とくに操業速度が上がつた場合、その未飽和度はより大きくなるものと考えられる。

4.2 酸化



Photo. 3. Microstructure of carbon block oxidized by water vapor at 1000°C —reflected light.

(A : Anthracite, G : Graphite, X : Pore)

炉底部炭素煉瓦は一般に還元雰囲気で使用されるが、鉄皮冷却水、出鉄口冷却板などの炉内漏水、鉄皮亀裂部などよりの空気の漏洩などによる酸化が考えられる。前述の解体煉瓦において煉瓦気孔径の拡大、マグネタイトの生成が認められる。

炭素の酸化は O_2 、 CO_2 、 H_2O の気相が主であると考えられ、当所で実験した結果、水蒸気による酸化は 500°C 以上で起こり、1000°C 以上では著しく大きくなることわかつた。煉瓦の酸化は炭素煉瓦の微粒部分から選択的に進行し、気孔径を拡大し、溶鉄の侵入および煉瓦強度の低下をもたらす (Photo. 3)。炭素の酸化性は炭素原料および煉瓦組織によつても異なるので、耐酸化性煉瓦の開発が必要である。なお使用面においてもシャモットモルタル水分の乾燥、稼動中の漏風・漏水の防止が必要である。

4.3 浮上分離

欧州において小型炭素煉瓦使用時に浮上トラブルがあり、また欧米で炭素煉瓦目地を 2~3 インチのスタンプ目地としたとき、炉底寿命が短かつた報告がある。いずれにしても溶鉄と炭素煉瓦の比重差が大きいため、浮上の機会は常にあり、炉底煉瓦の一部が浮上すると、他の部分はつづいて浮上する危険性がある。とくに高炉が大型化し炉底中心部煉瓦が冷却効果が少なくて先に溶損すると同様の危険がある。

当所ではいずれも和白式築造法を採用し、炉底中心部に向つて浮上をおさえる迫り構造をとっているが、近年浮上を防止するため複雑なモザイク構造⁹⁾、縦積み法¹²⁾とか、Union Carbide Corp. 開発の大型ビーム煉瓦をキーで相互につなぐなどの方式¹³⁾も行なわれ、今後検討してみる必要がある。

この浮上をおこす他の原因として炭素煉瓦の収縮と目

地部の溶銑侵入が考えられる。これには①煉瓦の焼成温度不足、使用原料不適正などによつておこる使用中の焼結収縮、②使用中の炭素の黒鉛化による収縮、③使用目地材の材質不良が考えられるので、煉瓦材質、目地材の品質を充分研究する必要がある。

4.4 摩 耗

溶銑の出銑時の流動による摩耗が考えられるが、貯留銑の底部および周辺部は冷却により温度が低く粘性が高いためと、出銑口レベルは炉底部より築造時でも 700~1000 mm 高い位置にあるため (Fig. 3 参照)、炭素煉瓦接触面での流動摩耗は小さいものと考えられる。ただ出銑口底部は流動銑による摩耗が考えられる。

5. 結 言

八幡製鉄所は昭和 26 年わが国で最初に炭素煉瓦炉底構造を実施し、以後全高炉に逐次採用しているが、安定した操業により長寿命を保っている。現在まで 6 基の炭素炉底高炉を改修したが、その際解体煉瓦性状を調査し炭素煉瓦材質の検討を行ない、昭和 40 年冶金コークスペースの炭素煉瓦から、容積安定性、アルカリ抵抗性のすぐれた無煙炭ベース煉瓦に切りかえた。解体煉瓦の性状調査結果から、炭素煉瓦の侵食機構を検討した結果、溶銑加炭、酸化、浮上、摩耗がその主要因であり、した

がつて今後煉瓦製造者、設計者、築炉者、操業者、研究者が共同して高炉用炭素煉瓦の損耗防止を研究すべきであると考えられる。

文 献

- 1) 大庭, 平櫛, 田中: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 290
- 2) 大庭, 平櫛: 製鉄研究, (1966) 252, p. 41
- 3) 大庭, 平櫛, 田中: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1207
- 4) 大庭, 平櫛, 松尾: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1389
- 5) R. B. SNOW et al.: Proc. B.F., Co. Ov. & Raw Material AIME, (1962)
- 6) 田中: 鉄と鋼, 53 (1967) 14, p. 1599
- 7) OLSSAN: Trans. Met. Soc. AIME, 236 (1966) 4, p. 426
- 8) K. W. COWLING: Refractories J., 40 (1964) 2, p. 46
- 9) R. WALTSMANN, H. MERTES and V. STEINECKE: Stahl u. Eisen, 87 (1967) 7, p. 357
- 10) V. PASCHKIS and T. J. MIRSEPASSI: Iron and Steel Eng., 33 (1956) 6, p. 116
- 11) D. Q. KERN and C. R. BRUMETT: J. Metals, 19 (1967) 5, p. 66
- 12) H. NIES and G. SCHNEGELSBERG: Stahl u. Eisen, 87 (1967) 10, p. 598
- 13) L. E. BACON: Extractive Met. Div. AIME, (1966)

溶融滓の粘性測定値におよぼす黒鉛の影響について*

加 藤 誠**・蓑 輪 晋***

On Graphite Parts in Viscometers at Elevated Temperature

Makoto KATO and Susumu MINOWA

Synopsis:

Some times, graphite are used for the rotor of viscometers and for the crucible, in which slag is melted, for the viscosity measurement.

The slip between graphite rotor and molten slag was negligibly small in this work with the circumferential velocity of the rotor of about 0.1-2cm/sec. However, the slip may not be negligible, when the rotor velocity increased in highly viscous flow.

The viscosity was decreased by addition of graphite powder and the activation energy for viscous flow was increased at higher temperature range.

Therefore, it should be avoided to use graphite for the detecting parts of viscometers or for the crucible when graphite reacts chemically with molten slag or may be dispersed in slag as suspended particles.

(Received July 14, 1967)

1. 緒 言

溶融滓の粘性測定実験において、黒鉛製の容器あるいは回転体を使用されることがある。これは黒鉛が比較的

* 昭和42年4月本会講演大会にて発表

昭和42年7月14日受付

** 名古屋工業技術試験所

*** 名古屋工業技術試験所 工博