

(討5) 高炉炉底炭素煉瓦の使用後性状と損耗機構

八幡製鉄所 技術研究所 ○大庭 宏, 平柳敬資

谷山光哉

1. 緒言

高炉炉底部は操業および炉寿命上最も重要な部分である。当所は我が国で最初に高炉炉底部に炭素煉瓦を採用した結果、シャモット煉瓦に比べて安定した高炉操業と長期間の炉寿命を確保してきたが、解体時炭素煉瓦は必ずしも健全な状態で存在せず、なお品質改良の必要を感じている。現在までも基の炭素炉底高炉を改修のために解体したが、その都度、使用後煉瓦性状を調査して、品質改良の手掛りを見つける努力を続けてきた。以下に八幡製鉄所における炭素煉瓦の材質および品質の変遷と使用後煉瓦性状の調査結果を紹介し、炉底炭素煉瓦の損耗機構を考察する。

2. 炭素煉瓦の品質

炭素煉瓦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第1種(BC-1)が一般に適用される。当所は昭和26年の炭素煉瓦の高炉炉底部への導入以来、東田6(5次)を除き、他の高炉には冶金コークスペースの炭素質煉瓦を使用してきた。冶金コークスペース煉瓦の特徴は冷間強度が大きく、緻密で、切削加工性が良好なことである。最近の煉瓦は灰分少なく、固定炭素の多い高純型の傾向を示しているが(第1表)、原料自体の緻密性が小さいため、熱間容積安定性およびアルカリ侵食性は改善されていない。これらの性質の改善方法として、原料および煉瓦の焼成温度を高める方法と緻密な原料を使用する方法がある。前者は設備能力の制約があるので、後者の配合原料の改良研究を進めた結果、焙焼無煙炭および人造、天然の黒鉛を主成分とすれば、冶金コークスペース煉瓦の性質が著しく改善できる見通しをえ

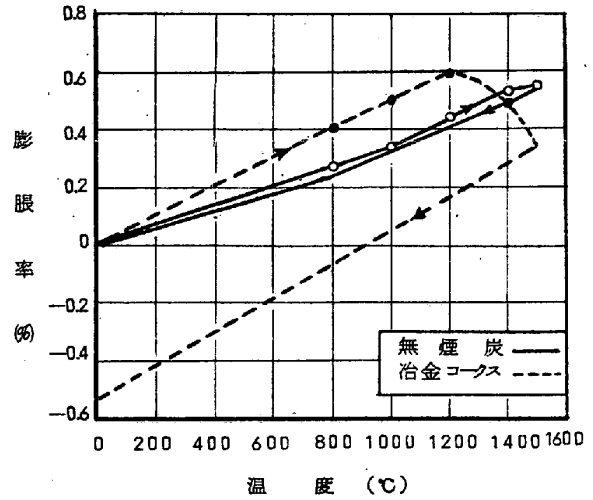
第1表 炭素煉瓦の品質(使用前)

年 度	高 炉	性 質	物 理 的 性 質							工 業 分 析 (%)					材 質	
			嵩比重	見掛比重	真比重	見掛気孔率(%)	密封気孔率(%)	真気孔率(%)	圧縮強度(Kg/cm ²)	抗折強度(Kg/cm ²)	水分	灰分	揮発分	固定炭素		硫黄
S. 26.	3	洞岡63(3次)	1.68	1.89	1.97	11.0	3.8	14.8	457	194	1.62	1228	4.93	81.17	0.36	冶金コークス
S. 26.	12	東田66(5次)	1.59	1.90	—	16.2	—	—	335	—	—	—	—	—	—	無煙炭
S. 27.	12	洞岡64(3次)	1.64	1.91	1.96	15.5	3.1	18.0	—	—	1.39	17.69	6.25	75.66	—	冶金コークス
S. 30.	6	洞岡61(4次)	1.64	1.97	2.00	17.0	1.0	18.0	445	99	0.23	8.25	3.19	88.33	0.49	〃
S. 30.	12	洞岡63(4次)	1.64	1.97	2.01	14.9	2.0	16.9	456	197	0.07	5.61	2.16	92.16	0.28	〃
S. 31.	3	東田64(7次)	1.60	1.91	1.95	16.4	1.6	18.0	434	140	0.10	6.37	3.25	90.28	0.42	〃
S. 31.	6	東田65(6次)	1.60	1.93	1.97	17.6	1.7	19.3	572	105	0.24	5.37	4.14	90.25	0.35	〃
S. 31.	10	洞岡62(5次)	1.62	1.94	1.94	16.2	2.0	18.2	545	105	0.26	3.13	4.42	92.19	0.20	〃
S. 34.	9	戸畑61(1次)	1.60	1.92	1.93	16.6	0.6	17.2	377	83	0.72	6.25	2.16	91.03	0.27	〃
S. 37.	3	戸畑63(1次)	1.59	1.93	1.96	18.5	2.1	20.7	447	114	0.14	5.78	1.09	92.99	0.14	〃
S. 37.	8	東田61(1次)	1.59	1.93	1.95	15.6	0.8	16.5	394	86	0.03	5.11	1.13	93.73	0.17	〃
S. 40.	4	洞岡62(6次)	1.60	1.91	1.97	16.2	2.3	18.5	390	127	0.04	6.97	0.80	92.19	0.04	〃
S. 40.	6	堺61(1次)	1.57	1.91	1.95	17.9	1.7	19.6	392	91	0.07	4.39	0.72	94.82	0.11	〃
S. 40.	12	洞岡63(5次)	1.62	1.93	1.95	15.9	1.0	16.9	545	128	0.12	5.24	1.05	93.59	0.32	〃
S. 41.	11	戸畑61(2次)	1.57	—	1.93	—	—	18.8	560	168	0.15	1.82	0.85	97.07	—	無煙炭

S500

たので、国内メーカーの協力によつて開発した無煙炭ベース煉瓦を戸畑1高炉(2次)で使用されているが、本高炉以降にもこの煉瓦を使用する予定である。

無煙炭ベース煉瓦の特徴は第1図に示すように熱間容積安定性が良いことと、アルカリ反応性が小さいこととであり、欧米でも数年前から無煙炭ベースが好成績をおさめている。当所においても、昭和26年火入れ後10年7ヶ月使用の東田第6高炉(5次)の炉底損耗が小さく、まだ1例ではあるが、無煙炭ベース煉瓦の優秀性が示されている。



第1図 炭素煉瓦の熱膨脹曲線 (使用前)

3. 使用後煉瓦の性状

昭和26年3月、洞岡第3高炉(3次)の炉底周辺に炭素煉瓦を用いて以来、現在まで20基の高炉に炭素煉瓦を使用してきたが、そのうち6基が改修のために解体された。解体時に残存煉瓦を1-2個所から採取したが、それらを部位別に分類すると、炉底中央、炉底周辺、炉床下部、炉床上部である。各試料は細分割して、性状試験に供したが、それらの結果のうち、炉内側、中央、炉外側の3個所の代表的データを第2表に示す。

第2表 高炉炉底使用後炭素煉瓦の性状

試料	性質	圧縮強度 (kg/cm ²)	見掛気孔率 (%)	固定炭素 (%)	灰分 (%)	灰の成分 (%)						黒鉛化度 (%)	結晶子 (Å)	
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O			
炉底中央	洞岡 4	炉内側	425	12.4	19.92	78.41	24.66	3.19	67.31	3.53	0.06	0.25	95	210
		中央部	408		81.32	15.51	13.45	8.31	67.64	0.09	0.46	0.53	95	150
		炉外側	304		79.97	15.14	22.76	34.60	36.03	2.44	0.93	0.97	95	140
	東田 6	炉内側	—	—	—	—	34.05	5.33	31.00	8.22	0.00	0.04	100	383
		中央部	—	—	—	—	41.15	7.20	19.05	8.57	0.00	0.07	100	191
		炉外側	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
炉底周辺	東田 6	炉内側	211	16.1	75.07	19.97	14.40	5.08	75.27	1.51	0.08	0.46	4	63
		中央部	285	21.0	75.09	18.53	16.68	6.83	68.93	2.77	0.13	0.72	38	62
		炉外側	178	28.8	80.24	15.60	18.84	7.32	66.29	2.52	0.04	0.29	4	73
	戸畑 1	炉内側	657	3.3	73.73	21.68	10.33	1.85	15.8	8.03	2.59	63.33	73	87
		中央部	600	6.6	69.65	23.76	5.04	tr	1.00	7.23	6.65	65.48	74	93
		炉外側	748	2.6	67.42	25.79	3.96	0.27	1.61	3.14	5.53	65.75	83	107
炉壁下部	洞岡 4	炉内側	1043	8.5	56.18	37.42	—	—	—	—	—	—	85	115
		中央部	927	11.0	79.96	16.89	27.68	12.95	59.28	3.44	—	—	82	80
		炉外側	903	8.4	85.84	10.61	21.14	14.76	51.17	2.52	1.60	2.28	—	—
	洞岡 2	炉内側	1017	5.5	57.26	35.67	10.86	2.26	44.46	3.07	4.35	39.79	74	137
		中央部	512	12.5	—	68.43	19.82	10.91	15.22	21.38	1.34	27.55	89	231
		炉外側	397	23.0	58.22	34.15	9.26	3.47	2.78	0.93	7.04	45.17	36	48
炉壁上部	洞岡 1	炉内側	386	15.5	63.48	23.63	10.84	5.45	44.35	1.63	7.55	35.40	—	—
		中央部	574	11.9	78.04	14.66	23.14	9.07	3.31	1.43	8.15	63.20	—	—
		炉外側	335	19.5	84.36	10.52	29.96	14.45	9.22	1.84	3.80	31.20	—	—
	洞岡 3	炉内側	795	4.9	87.78	11.21	23.88	11.53	8.78	3.92	2.30	45.75	74	131
		中央部	384	15.0	92.07	6.93	41.68	21.27	11.18	4.90	1.54	13.70	74	96
		炉外側	528	7.7	88.62	6.09	43.92	19.85	12.38	5.18	2.30	11.00	74	86

※ 鉄分はすべて Fe₂O₃ として示す。

3.1 物理的性質： 使用前よりも低気孔、高強度（冷間）となつているが、部位別に見ると、炉床に比べて炉底の緻密化の程度は小さく、使用前と同程度以下のものもある。気孔率の低下は見掛気孔率の低下によるもので、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以上と高くなつているものもあるが、概して使用前と大差ない。比重、気孔率の数値には現われないが、損耗の苛酷な部分の残存レンガには稼働面側に表面に平行な亀裂が発生し、亀裂には銑鉄、スラグ、アルカリの凝縮物が認められる。このような部分の熱膨脹率は大きく、かつ、熱間での収縮が大きく容積安定性が劣つている。

3.2 化学組成： 使用前に比べると固定炭素が減少し、灰分、揮発分が増加している。灰分は外来成分の侵入および炭素の酸化によつて増加したものである。灰の全分析によつて、外来成分は鉄分、および K_2O を主成分とし、炉底炭素煉瓦には鉄分、炉床には K_2O が多いことが判つた。

3.3 鉱物組成： 粉末法X線回折によつて炭素の黒鉛化の程度と黒鉛以外の鉱物同定を行なつた。黒鉛化は(002)面回折線の面間隔から黒鉛化度を、半価巾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%以上で加熱効果が著しいこと、および炉床でも70~80%以上の試料が多く、稼働面側ほど黒鉛化している。黒鉛以外の鉱物として、Magnetite(Fe_3O_4)、Cementite(Fe_3C)、 α -Iron(α -Fe)、Kalsilite($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)、Potassium Carbonate(K_2CO_3)、Gehlenite($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$)、Calcium-Titanate($CaO \cdot TiO_2$)、Zincite(ZnO)が同定されたが、鉄化合物は炉底に、 K_2O -化合物は炉床に多い。

4. 損耗機構

残存煉瓦の性状調査によつて、炭素煉瓦は使用中、加熱による黒鉛化、温度勾配による亀裂発生、外来成分による組織、材質変化をうけて変質することが明らかとなつた。これらの変質は炭素煉瓦損耗の直接原因とはならないが、侵食抵抗性を減少させるものと考えられる。すなわち、黒鉛化は炭素と黒鉛の比重の相違から明らかなように収縮をとともなうが、これは加熱による焼成収縮とも重なつて煉瓦間の目地拡大、煉瓦内の亀裂発生をもたらす。外来成分は煉瓦内の亀裂、目地等の大きい間隙のみならず、50 μ 前後のマイクロ気孔にも、液相または気相状態で侵入し、炭素との直接反応および結晶析出によつて煉瓦組織を変化させる。前者の例は溶銑と炭素からのCementite形成、後者については、スラグまたは炭素煉瓦の灰分とアルカリによるKalsilite形成がある。これらの化学反応は、反応生成物形成時の応力、煉瓦内局部における集中析出による濃度勾配による歪をもたらし、煉瓦亀裂の原因となる。

以上に述べた煉瓦の変質は、次に示す直接的損耗作用を促進すると考える。

① 溶銑への加炭 ② 気相酸化 ③ スラグ酸化 ④ 磨耗 ⑤ 浮上分離

溶銑加炭は炭素煉瓦の黒鉛化度、物理的性質にもよるが、主として温度によつて律速されるものと考えられるが、使用後の炉底部の溶損線は、炉壁及び炉底からの冷却効果による溶銑の凝固線に一致することが知られている。気相酸化は主として炉体冷却水などの漏水およびその水蒸気による炭素の酸化消耗が主体で、炉底事故の一原因となる。スラグ酸化とはスラグを構成する酸化物のうち SiO_2 が炭素との直接反応で CO および

S502

SiO₂を形成して気化する反応である。磨耗は溶銑の流動による。浮上分離はこれらの総合的結果としてあらわれ煉瓦目地、または亀裂に溶銑が侵入し、あるいは中心部煉瓦が溶損したため目地がひらき周辺部煉瓦が比重差より溶銑内に煉瓦が浮上混入する現象で、浮上防止のため煉瓦形状、築炉法、冷却法に種々工夫がこらされているのが現状である。現在のところこれらの損耗作用はいずれも定性的推測の域をでず、定量的評価は今後の課題である。

5. 結 論

八幡製鉄所における炭素煉瓦の高炉炉底への使用問題を煉瓦材質の見地から検討した。導入当初から昭和40年まで、冶金コークスペースの炭素煉瓦を使用していたが、熱間容積安定性および耐化学反応性の優れた無煙炭ベースに昭和41年以降切り換えた。解体高炉の残存煉瓦の性状調査によつて、炭素煉瓦は使用中黒鉛化および外来成分によつて組織変化、亀裂発生、強度低下を生じ、溶銑加炭、酸化等の直接損耗作用に対する抵抗性が減少することが推定された。これらの結果として浮上分離現象があらわれる。したがつて炭素煉瓦の具備特性として、高強度、熱間容積安定性、耐化学反応性、耐酸化性があげられ、煉瓦形状、冷却法、築炉法と平行して検討すべきであると考えられる。

文 献

- 1) 大庭他 製鉄研究 [252] (1966)
- 2) 大庭他 鉄と鋼 49 (1963) 3, P.290