

# 回転研磨盤利用によるソリューションロス 反応後におけるコークスの摩耗強度

技術報告

重野芳人\*・洪 明在\*<sup>2</sup>・小林三郎\*<sup>3</sup>・大森康男\*<sup>3</sup>

## Abrasive Resistance of Coke Oxidized with CO<sub>2</sub> by Use of Rotational Abrasive Disk

Yoshihito SHIGENO, Ming-Tzai HONG, Saburo KOBAYASHI and Yasuo OMORI

### Synopsis:

In order to evaluate the abrasive resistance of coke oxidized with CO<sub>2</sub> gas, the rotational abrasive disk was used. The specimens of metallurgical and formed coke were oxidized unidirectionally with gas mixtures like bosh gases. The relation between the abrasive resistance and conversion ratio was studied. The results are summarized as follows:

1) The abrasive resistances of the bulk and matrix of coke can be evaluated distinctively by the indices proposed in the present study.

2) The index proposed to show the abrasive resistance of the bulk coke against the abrasive wear has the linear relation with the conversion ratio.

3) The abrasive resistance of the bulk of coke decreases extensively with the increase in conversion ratio, while that of matrix does not decrease so much. Therefore, the degradation of coke can be attributed mainly to the decrease in the bulk resistance due to the enlargement of pore.

**Key words:** abrasion; abrasive resistance; abrasive wear; coke; metallurgical coke; formed coke; bosh gas; degradation; pore.

## 1. 緒 言

高炉内でのコークスの役割は、エネルギーおよび還元ガスの供給源だけではなく、ガスおよび溶鉄やスラグの通路を確保する上で重要な役割を果たしている。したがって、特に羽口から炉胸部ではコークス層の通気性は非常に重要でこれを支配する因子はコークスの粒度分布と強度である。従来は未反応コークスの強度に焦点が当てられたため、未反応コークスに関する研究は多くなされておらず、機械的強度の推定等の基礎的な研究<sup>1)</sup>も進んでいる。一方、高炉の解体調査結果から、通気性を阻害する因子として粉の生成の重要性が指摘されてきた<sup>2)~4)</sup>。粉はカーボンソリューションロス反応により脆弱化したコークスが破壊される時に主に生成すると考えられているので、コークスの反応中の強度は非常に重要であり、これを評価する方法として、炉胸の下部におけるコーク

スの挙動を想定した反応後コークスの回転強度試験法<sup>5)6)</sup>(CSR)が使用されている。しかしこの方法により得られる強度は、実操業では非常に有効な管理指標となりうるが、反面次のような問題点も指摘されている。すなわち

1) 反応処理後に所定の負荷を加えるので、反応性により異なる反応進行度の影響が含まれ、反応による劣化過程を分離して評価することができない<sup>7)</sup>。

2) 個々の粒子の反応率分布を考慮し得ない。換言すれば強度が粒子径依存性を有する。

3) コークス同志の摩耗およびコークス同志の衝突による破壊が同時に進行し、粉化の定量化は不可能である<sup>8)</sup>。

これらの問題点に対する研究が最近活発に行われるようになってきた。すなわち1)の問題については、原ら<sup>9)</sup>の噴流層による方法が知られているが、最近、岩永

昭和 61 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 6 月 10 日受付 (Received June 10, 1987)

\* 東北大学選鉱製錬研究所 (Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University, 2-1-1 Katahira Sendai 980)

\*<sup>2</sup> 中国鋼鉄公司研究發展処 (Research & Development Dept. China Steel Corporation Hsiao Kang, Kaohsiung Taiwan, Republic of China)

\*<sup>3</sup> 東北大学選鉱製錬研究所 工博 (Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University)

ら<sup>10)</sup>が、高温でコークス充填層をエアシリンダーで振動、流動化し、ガス化反応させながら発生する粉コークスを連続捕集する装置を開発し、コークスの粉化特性を調べている。また2)の問題に対しては岡本ら<sup>11)</sup>がマイクロストレングステスターによる塊内の劣化勾配について報告している。本研究では、3)の問題に対し、コークスの摩耗強度のみを独立に評価するため従来金属などの耐摩耗試験に使用されてきた回転研磨盤を使用し、反応後コークスの摩耗強度の定量化を試みた。また原ら<sup>4)</sup>によれば、塊状コークスがガス化反応を受け粉化する場合、一定の反応率(限界ガス化率:  $f_c$ )以上になればコークスは粉化を開始し、コークスの受ける衝撃力にもよるが  $f_c$  はおよそ 35~50% という結果を得ている。このことを換言すれば、一定衝撃力下でコークス強度と反応率の関係を求めた場合、ある反応率以上で急激に強度低下の起こることを意味する。しかし岡本らのI型ドラム法による強度試験の結果からはそのような事実は観測されない。本研究では耐摩耗のみに注目した場合、限界ガス化率が存在するか否かという点も明確にしうる。

## 2. 実 験

### 2-1 試料の作成

試料の作成方法を Fig. 1 に図示する。コークス塊より直径 26 mm, 長さ約 12~13 mm の円柱状の試料を切り出し、実操業でのコークスの平均の大きさに近似させるために、見掛け密度がほぼ等しい二つの円柱状試料を合わせ、長さ約 25 mm の円柱とした。円柱軸方向に一方から酸化反応を進行させるために、一端だけを残し、残りの面を高温用セメントで覆った。被覆面からのガスの侵入を防ぐために、二種類のセメントで二重にコーティングした。すなわち内側の第一層は、 $\text{Na}_2\text{O}$ -

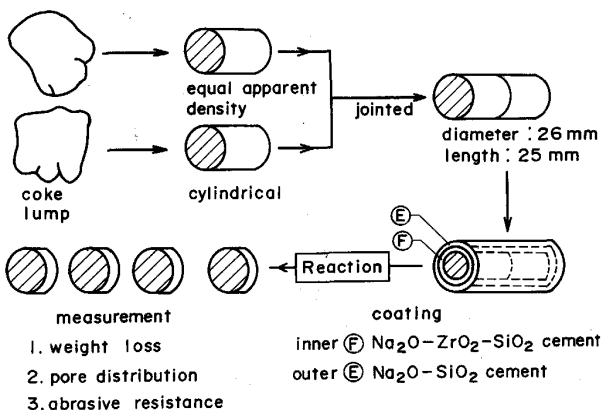


Fig. 1. Schematic diagram for preparing specimens.

$\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$  系のセメント (E) を塗布し、外側には  $\text{Na}_2\text{O}$  (約 20%) -  $\text{SiO}_2$  系のセメント (F) を塗布した。この理由は、 $500^\circ\text{C}$  以下では前者のセメントの気密性が良好であるが、 $900^\circ\text{C}$  以上においても固相であるためき裂を生じ、ガスが侵入する。一方、後者は  $200\sim 400^\circ\text{C}$  ではき裂を生じる場合もあるが、 $900^\circ\text{C}$  以上では固液共存相となりガスの侵入を防ぎ得るためである<sup>8)</sup>。酸化の温度は、強度に対するソリューションロス反応の影響を調査するため、比較的低温を選択し、主に  $1100^\circ\text{C}$  とした。また比較のために、幾つかの試料については、 $900^\circ\text{C}$  でも反応させた。ただし、使用したセメントはアルカリを含有しており、著者らの一部も明らかにしているように、アルカリはソリューションロス反応速度を促進する効果を有しているが、本研究は反応速度の研究ではないので、アルカリの影響に関する詳細な検討は行っていない。反応は  $\text{LaCrO}_3$  を発熱体とする型抵抗炉中に、試料の反応面を下側にして白金線で吊し、反応管底部よりガスを流した。ガスは高炉シャフト下部のウスタイト還元領域のガス組成に類似の  $\text{N}_2\text{-CO}_2$  系を使用し、これに微量の  $\text{H}_2$  および  $\text{H}_2\text{O}$  を添加した場合も調

Table 1. Conditions for oxidizing the specimens at  $1100^\circ\text{C}$ .

Mark	Gas composition (%)			
	$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2$
A	90	10	—	—
B	90	8	2	—
C	80	15	—	5
D	80	10	—	10
Reaction time (h)	3			
Gas flow rate (Nl/min)	2.5			

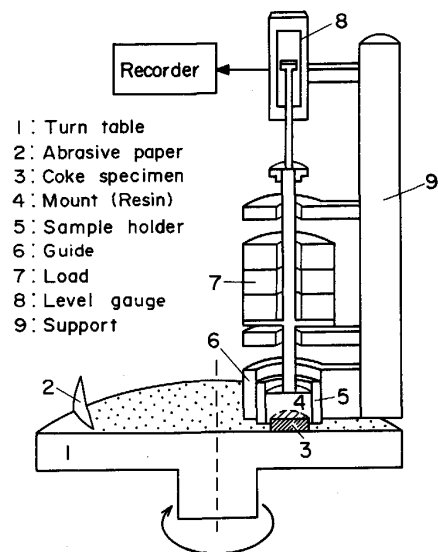


Fig. 2. Apparatus for measuring abrasive resistance of coke.

べた。ただし 900°C では N<sub>2</sub>(90%)-CO<sub>2</sub>(10%) 混合ガスのみを使用した。1100°C で使用した 4 種類のガス組成を Table 1 に示す。一定時間反応後、炉内を Ar に切り換え、試料を炉内冷却した後四つの円柱に切断した。おのおのの試料は、セメントをベンチ等で試料表面から除き、試料重量の減少量から反応率を求めた。なおセメントに付着した試料重量はわずかであるので無視し、また反応前の重量は元の円柱状試料の見かけ密度から算出した。更に試料を中心軸に沿い二つに切断し、一方を水銀ポロシメーターにより気孔径分布を測定し、他方を樹脂に埋め込み、耐摩耗試験の試料とした。

2.2 耐摩耗試験装置

耐摩耗試験に使用した装置(断面図)を Fig. 2 に示す。試料 3 を樹脂 4 で固定し、サンプルホルダー 5 にねじで固定した。ホルダーの外側とガイド 6 の内面は横方向のぶれを防ぐため、精密仕上げをしており、滑らかな上下方向の移動が可能である。摩擦面へ作用する圧力は、7 の錘で任意に調整可能である。ターンテーブル 1 を回転させ、その表面に接着した耐水研磨紙(研磨剤: SiC 粒子)により、試料を摩砕する。試料の軸方向の変化量はレベルゲージ 8 により電圧に変換し、レコーダーに記録した。このシステムの検出精度は、0.01 mm である。測定に際し、まず研磨紙との接触面(軸方向と垂直の面)を研磨し、試料の傾きによる試料-研磨紙間の接触の不均一を無くし、更に 2 を新しい研磨紙に交換した後、測定を開始する。なお試料研磨中は研磨面に水を供給し、研磨紙からのコークス粒子の排出を行った。実験条件は、Table 2 にまとめて示す。

2.3 摩砕の原理

摩耗により試料がその一部を表面から取り除かれる現象(Adrasive wear: 摩砕)を定量化するために多くの

Table 2. Experimental conditions for measuring abrasive resistance of coke.

Speed of turn table	160 rpm
Grain size of paper (SiC)	140, 34, 16 μm
Load (kg)	0.4-1.3

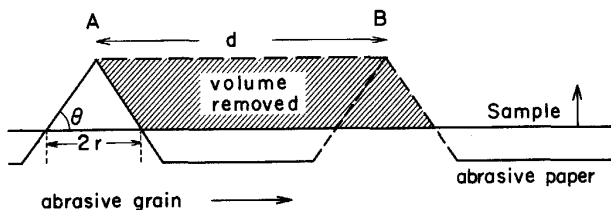


Fig. 3. Schematic illustration of abrasive mechanism for single particle.

モデルが提案されているが、摩砕に関する基本的な現象を表現する代表的なモデルである RABINOWICZ<sup>13)</sup> によるモデルを使用した。このモデルの概念は単純であるが、耐摩耗に関する指標を得るには十分であると判断した。概念図を Fig. 3 に示す。

SiC 粒子は側面と研磨紙の角度  $\theta$  の同一形状の円錐と仮定した。試料に作用する荷重  $W$  は半径  $r$  の円錐の接触面で釣り合うので式(1)が成立する。

$$W = Hn\pi r^2 \times 10^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $H$ : 塑性流動圧力 (Vickers 硬さ),  $n$ : SiC 粒子の個数を示す。

研磨紙が回転することにより、この円錐が点 A から B へ距離  $d$  (摩砕距離) 移動すると、斜線部の体積  $v$  が取り除かれる。したがって式(2)が成立する。

$$v = dn r^2 \tan \theta \dots\dots\dots (2)$$

式(1)と(2)から  $nr^2$  が消去でき、式(3)が成立する。

$$v = dW(\tan \theta) \times 10^{-2} / \pi H \dots\dots\dots (3)$$

すなわち摩砕される量が、SiC 粒子の先端の鋭さ、荷重の大きさ、移動距離に比例し、試料の塑性流動圧力 (Vickers 硬さ) に反比例する。ただし一般的に SiC 粒子は不定型であるために、 $\theta$  は形状を示すパラメーターである。また  $H$  は本来、金属のように塑性変形する非多孔質体の場合に意味を有するが、コークスのような多孔質で脆性体の場合には、見掛けの値となる。これについては次章で検討する。

コークスは主にマクロ気孔(径が 100 Å 程度から mm オーダーの気孔)およびマクロ気孔を構成する気孔壁より成り立ち、気孔壁を構成するものを基質(マトリックス)と定義するが、この基質中には Å オーダーの気孔(ミクロ気孔)が存在する。

コークスのソリューションロス反応後の摩耗強度の減少は、コークス基質と CO<sub>2</sub> を主体としたガス(共存するアルカリなどの触媒作用を含む)との反応により、基質の組織が選択的にガス化することによる機械的強度の劣化およびガス化により基質の厚さが減少し、強度劣化するという二つの効果が重畳すると考えられる。したがって、 $v$  の評価は次の式(4)と(5)の二つの場合を考慮する必要がある。

$$v = S\Delta T_L \dots\dots\dots (4)$$

$$v' = S\Delta T_L(1 - \epsilon_a) \dots\dots\dots (5)$$

ここで  $S$ : 試料面積,  $\Delta T_L$ : 試料の長さ方向の減少量,  $\epsilon_a$ : 全気孔率である。

前者は気孔も含めた場合の試料の強度の評価、後者は気孔拡大の影響を除いた基質自身の強度を近似的に評価できると考えられる。また  $d$  と回転時間  $t$  との間には

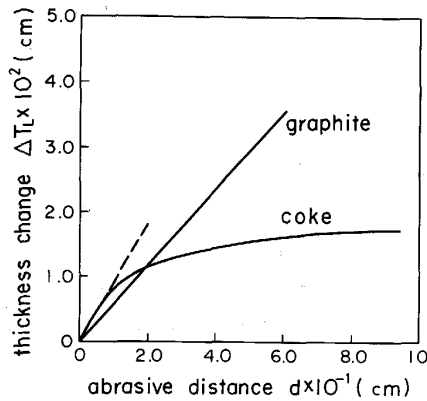


Fig. 4. Typical result of thickness change with abrasive distance.

Table 3. Comparison of  $\tan \theta/\pi$  for brass and graphite.

	Brass	Graphite
$H$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	182	14.7
$W$ (kgf)	1.743	0.487
Diameter of SiC ( $\mu$ m)	140 (# 100)	140 (# 100)
$\tan \theta/\pi$	0.069	0.40

次の関係がある。

$$d = 2\pi R\omega t \dots\dots\dots (6)$$

ここで  $R$ : 研磨紙の中心から研磨面までの距離 (cm),  
 $\omega$ : 回転速度 ( $s^{-1}$ ),  $t$ : 回転時間 (s) である。

### 3. 基礎式の検討

Fig. 4 には摩砕距離と試料の厚さ変化との関係を示した。式(3)と(4)または(5)によれば、荷重一定の場合、 $\Delta T_L$  は  $d$  に比例し、両者は直線関係になるはずである。グラファイトの場合には、確かに直線関係が成立するが、コークスの場合には時間の進行と共に一定値に漸近する。これはコークスが非常に硬く、SiC 粒子自身が摩耗し、滑らかになるためである。したがってコークスの場合には、初期の近似的に直線とみなせる部分の傾きを採用した。なお、この領域では SiC 粒子の先端部は摩耗していないことが肉眼観察の結果わかっている。これらのデータの再現性をコークスと黒鉛について同一ロットのサンプルで調べたところ、両試料とも測定ごとの差は 5% 以内であった。

また式(3)の  $(\tan \theta)/\pi$  は、研磨紙の粒子の先端の鋭さを示すパラメーターであるから、研磨される対象物、荷重には依存せず、研磨紙の粒子の形状が同一とすれば、粒子の大きさにも無関係のはずである。これを確認するため種々の条件を変化させた場合の  $(\tan \theta)/\pi$  に及ぼす

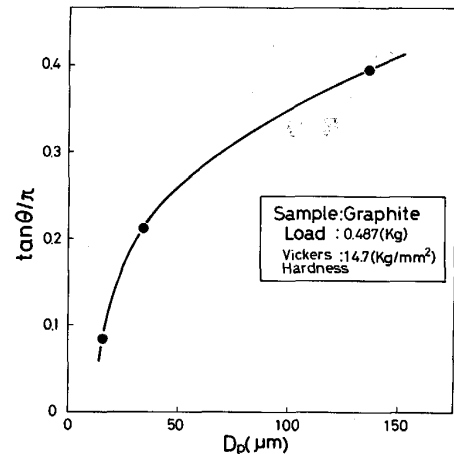


Fig. 5. Relation between  $\tan \theta/\pi$  and diameter of SiC particle.

Table 4. Relation between  $\tan \theta/\pi$  and load for graphite.

$W$ (kgf)	0.487	0.510	0.800
$\tan \theta/\pi$	0.40	0.37	0.41

$H=14.7$ (kgf/mm<sup>2</sup>)  $D_p=140$ ( $\mu$ m)

影響を調べた。まず被研磨材の特性たとえば、気孔の有無あるいは塑性変形が可能か否かによる影響を調べるため、金属としては真鍮を、脆性体としては黒鉛を選択した。両者とも以下の測定に際し、 $\Delta T_L$  と  $d$  の間にはいずれの場合にも直線関係が成立した。それぞれの直線の傾き、荷重、および Vickers 硬さから  $\tan \theta/\pi$  が求められるので Table 3 にその結果を示す。黒鉛の  $\tan \theta/\pi$  は真鍮と比較して約 6 倍の値となった。次に、粒子径の影響を調べた結果を Fig. 5 に示す。この図から  $(\tan \theta)/\pi$  は粒度依存性のあることがわかる。これらの式(3)が必ずしも成立しない原因に関する考察は摩砕に関する機構等の研究では重要であるが、本報告では検討しない。しかし Table 4 は黒鉛の場合の荷重の影響を示したもので、これから  $(\tan \theta)/\pi$  は本実験の範囲では、荷重によらずほぼ一定値となることがわかる。

以上の結果から、研磨剤の粒子径が同一の場合  $(\tan \theta)/\pi$  が  $W \cdot d$  の比例定数としての意味を有することがわかる。またコークスの場合には、 $H$  を測定する際の Vickers 硬度計による圧痕が不明瞭なために正確な  $H$  の値が得られず、またその意味も明確ではない。したがってこれらをまとめ、 $(\tan \theta)/\pi H$  を便宜上コークスの摩砕強度を表す指標とし、これを  $K_{abr}$  と定義した。この値が大きくなるほど摩砕に対する抵抗力は小さくなる(摩砕量が  $K_{abr}$  に比例する)。ちなみに真鍮、黒鉛、コー

クスではこの値がそれぞれ  $3.76 \times 10^{-4}$ ,  $8.13 \times 10^{-4}$  および  $50 \times 10^{-4}$  となりこの3者の数値を比較すると硬くもろい物質がより摩砕されやすい傾向にあることが推察される。しかし、上述のとおり、この指標は研磨紙の特性も含む。また式(5)から求められる  $K'_{abr}$  を  $K_{abr}$  として両者を区別する。  $\epsilon_a$  と  $f$  の間には次式

$$(\epsilon_a - \epsilon_a^0) / (1 - \epsilon_a^0) = f / 100 \dots\dots\dots (7)$$

の関係があるので  $K'_{abr}$  は次式から求められる。

$$K'_{abr} = K_{abr}(1 - \epsilon_a^0)(1 - f/100) \dots\dots\dots (8)$$

ここで  $\epsilon_a^0$  は、反応前の気孔率(全気孔率)である。

#### 4. 結果および考察

##### 4.1 反応率分布に対するガス組成の影響

TIEN と TURKDOGAN<sup>14)</sup> や小林, 大森<sup>15)</sup> が指摘している

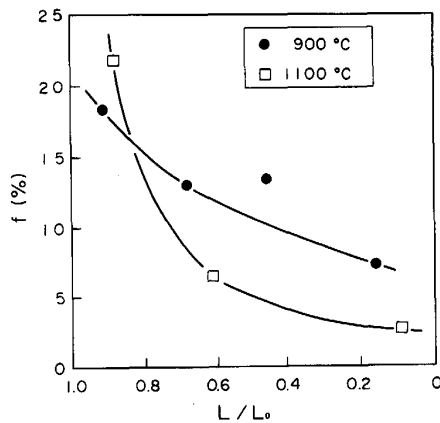


Fig. 6. Longitudinal distribution of weight loss of metallurgical coke at different temperatures. The total weight loss of each specimen is equal.

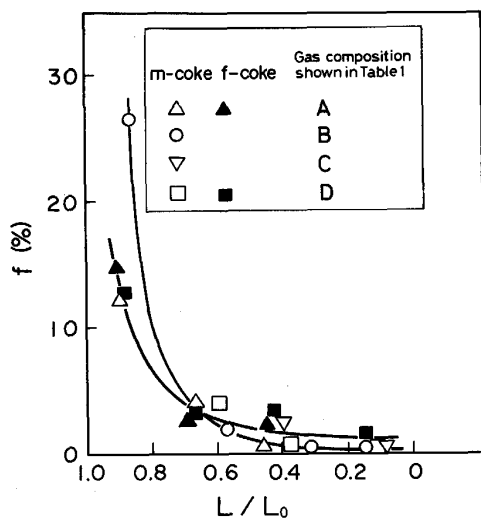


Fig. 7. Effect of gas composition on longitudinal distribution of fractional weight loss. Reacted at 1100°C for 3 h.

ように、コークスのソリューションロス反応が高温で進行し、かつ試料が厚いほど、総括反応速度は気孔内ガス拡散に支配される。すなわち試料の軸方向に反応率の分布が生ずる。一般に試料径が数センチのコークスの  $\text{CO}_2$  による酸化反応では 500~600°C を超えると気孔内拡散がしだいに律速となり、1700~1800°C を超えるとしだいにガス境膜内拡散支配となる。本研究でも高炉内における一個のコークス塊の半径方向の反応を想定しており、実験試料の大きさも高炉用のコークス程度の大きさに一致させている。Fig. 6 には、 $\text{N}_2\text{-CO}_2$  による反応で、温度の違いによる反応率分布を無次元距離に対してプロットした。反応温度は低いほど化学反応律速に近づくため反応率分布がしだいに一樣になることをこの図は示している。また高炉内のガスは微量の  $\text{H}_2\text{O}$  や  $\text{H}_2$  を含有しており、反応率に対するこれらのガスの影響を調べた結果を Fig. 7 に示した。

また水蒸気を添加した場合、反応速度は増大し、速度定数は 5~20 倍になる<sup>16)</sup> という報告もあり、本研究結果も水蒸気を 2% 添加すると試料表面近傍の転化率が約 2 倍と大きくなった。  $\text{H}_2$  を添加した場合、 $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$  の反応から生成する  $\text{H}_2\text{O}$  により同様な反応速度の上昇が予想されたが、結果は  $\text{H}_2$  無添加の場合と変わらなかった。これは、反応管中に十分なガス予熱帯を設けなかつたため、 $\text{H}_2\text{O}$  の生成に必要な滞留時間が不足したためと考えられる。

##### 4.2 摩耗指数 ( $K_{abr}$ ) と反応率の関係

Fig. 8 には反応後の冶金コークスの軸方向の反応率変化  $f$  と  $K_{abr}$  の関係を示した。この図で反応率  $f$  は、切断した円盤の軸方向の平均値であるから、試料の厚みの中間にプロットしているが、 $K_{abr}$  は軸方向で局所的

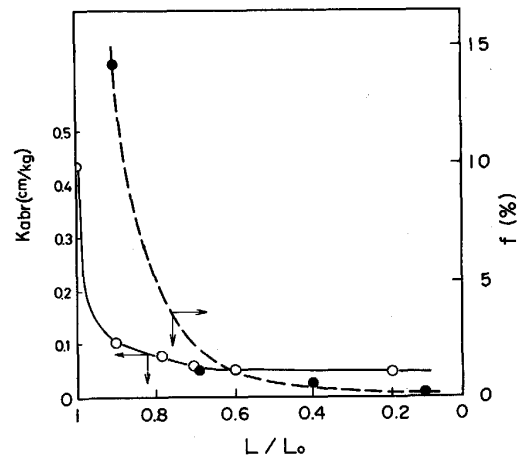


Fig. 8. Typical example of longitudinal distribution of the strength index and fractional weight loss for metallurgical coke after reaction.

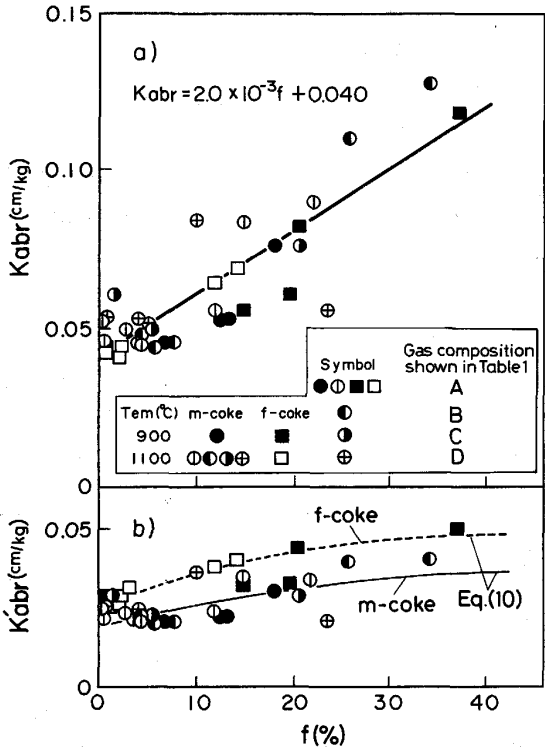


Fig. 9. Dependence of strength index of coke on fractional weight loss.

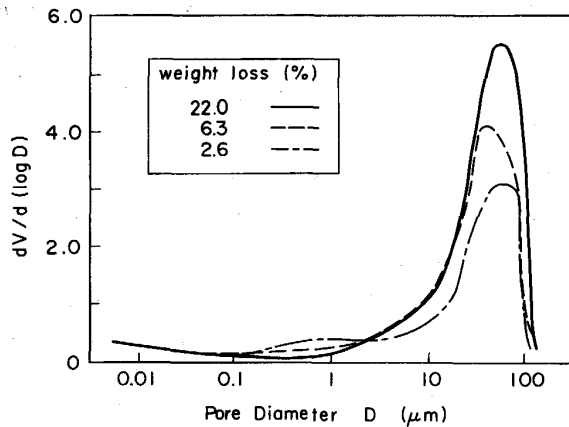


Fig. 10. Pore size distribution of metallurgical coke with different weight loss. Measured by means of mercury porosimetry.

な値が求められるので、両者のプロットの位置は必ずしも一致しない。しかしこの図から両者の間には対応関係のあることがわかる。この  $K_{abr}$  と  $f$  の関係を整理したのが Fig. 9 a) で  $K_{abr}$  と  $f$  の間には式(9)で示される1次の相関が認められる。ここで  $K_{abr}$  は一つの試料の両面における値を測定し、その算術平均をとった。

$$K_{abr} = 0.0020 f + 0.040 \dots\dots\dots (9)$$

また Fig. 9 b) には、式(8)により求めた  $K'_{abr}$  を示した。式(8)と式(9)より  $K'_{abr}$  と  $f$  とは次式の関係とな

る。

$$K'_{abr} = (1 - \epsilon_a^0)(-2 \times 10^{-5} f^2 + 0.0016 f + 0.040) \dots\dots\dots (10)$$

以上の計算において、本研究ではおのおのの試料の  $\epsilon_a^0$  の測定は行っていないので、元の試料の母集団の平均値すなわち冶金コークスでは 0.52、成型コークスでは 0.33 を採用した。

これらの図から反応の進行に伴い、耐摩耗性は急激に減少するが、基質強度の低下は比較的小さいことがわかった。また反応ガスの種類や温度によつては基質の一部が優先的に酸化し、それらの条件が強度に影響する可能性もあつたが、この図の結果からは、有意差は無かつた。さらに緒言で述べた“限界ガス化率”は  $f$  が 40% 以内では認められないことがわかつた。

### 4.3 反応に伴う気孔構造の変化

Fig. 10 は、冶金コークスを  $N_2-CO_2$  気流中で反応させた場合の反応率ごとの気孔径分布を示す。この図からわかるように、反応の進行に伴い、0.1~2  $\mu m$  の気孔が拡大し、これらが合体することにより、比較的大きい 50  $\mu m$  程度の径を有する気孔の割合が増大する。また 0.1  $\mu m$  以下の気孔径分布の変化は観察されなかつた。以上のことからコークスのような多孔質体の耐摩耗強度が低下する原因としては、基質中のマイクロポアーの拡大による基質強度そのものの摩耗強度劣化よりも、基質間に存在するマクロポアーが拡大し、基質壁そのものが薄くなることが強度低下の主な原因と考えられ、前章の結果と定性的に一致する。

## 5. 結 言

高炉内の反応中コークスの粉化挙動を調べる目的で、コークスを一方向から種々の条件で酸化させ、一次元方向の反応率分布を有する試料を作成し、耐摩耗試験を行った。試験法は、金属などの耐摩耗試験に使われている回転研磨盤を使用する方法である。その結果次の結論を得た。

1) 本試験法は、限られた条件下では摩砕の原理に従うので、条件を規定した場合、コークスのような多孔質脆性体の場合の摩耗強度測定の基準的方法として使用できる。

2) 気孔も含めたコークス試料全体の摩耗強度と基質の摩耗強度を表す指標を提案した。また前者の値と反応率はおよそ一次の関係にあることがわかつた。

3) 気孔も含めたコークス試料の摩耗強度は反応の進行と共に急激に低下するが、基質強度の低下は小さいことがわかつた。したがつて、摩耗による粉化の原因は主

にソリューションロス反応により気孔壁が薄くなり機械的強度が低下することによると考えられる。

なお、本研究を進めるに当たり、有意義な御助言をいただきました東北大学選鉱製錬研究所八嶋三郎教授ならびに富山大学助手諸橋昭一氏に感謝いたします。また冶金コークスの御供試について新日本製鉄株式会社に対し、成型コークスの御供試について住友金属工業株式会社に対し謝意を表します。最後に、本研究は研究費の一部を昭和 61 年度文部省科学研究補助金（一般 C）により行つたことを記して感謝の意を表します。

### 記 号

$d$ : 試料の摩砕距離 (cm)  
 $D_p$ : SiC 粒子の直径 ( $\mu\text{m}$ )  
 $f$ : 反応率 (%)  
 $H$ : 塑性流動圧力 (Vickers 硬さ) ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )  
 $L$ : 試料の端からの距離 (cm)  
 $L_0$ : 試料長さ (cm)  
 $K_{abr}$ : 気孔を含む試料全体の摩耗強度の指標 ( $\text{cm}/\text{g}$ )  
 $K'_{abr}$ : 基質の摩耗強度の指標 ( $\text{cm}/\text{kg}$ )  
 $n$ : SiC 粒子の個数 (—)  
 $R$ : 研磨紙の中心から研磨面までの距離 (cm)  
 $r$ : 試料に入り込んだ円錐状を仮定した研磨剤の底面の半径 (cm)  
 $\Delta T_L$ : 試料の長さ方向の減少量 (cm)  
 $t$ : 回転時間 (s)  
 $v$ : 摩砕により取り除かれる体積 (気孔を含む) ( $\text{cm}^3$ )  
 $v'$ : 摩砕により取り除かれる体積 (気孔を除く) ( $\text{cm}^3$ )

$W$ : 荷重 (kgf)

$\varepsilon_a$ : 全気孔率 (—)

$\varepsilon_a^0$ : 全気孔率の初期値 (—)

$\omega$ : 回転速度 ( $\text{s}^{-1}$ )

$\theta$ : SiC 粒子の側壁と研磨紙のなす角度 (rad)

### 文 献

- 1) S. YASHIMA, H. HASHIMOTO and K. SEINO: The 4th Int. Symposium on Agglomeration, Toronto (1985 年 6 月), p. 827
- 2) 宮崎富夫, 梶原義雅, 山岡秀行: 鉄と鋼, **70** (1984), S90
- 3) 野見山寛, 小島正光, 網永洋一, 中村文夫, 栗田興一, 岩永祐治: 鉄と鋼, **70** (1984), S792
- 4) 原 行明, 中村正和, 小島鴻太郎: 製鉄研究 (1978) 295, p. 1
- 5) 張 東植, 館 充: 鉄と鋼, **65** (1979), p. 488
- 6) 西 徹, 原口 博, 三浦義明: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 43
- 7) 館 充: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 2307
- 8) J. D. LITSTER, A. G. WATERS and S. K. NICOL: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **27** (1987), p. 3
- 9) 原 行明, 土屋 勝: 鉄と鋼, **66** (1980), p. 1810
- 10) 岩永祐治, 高谷幸司: 鉄と鋼, **72** (1986), S909
- 11) 岡本晋也, 和田保郎, 北村雅司: 鉄と鋼, **70** (1984), S747
- 12) 大森康男, 重野芳人, 小林三郎: 学振 54 委-No. 1738 (昭和 60 年 7 月)
- 13) E. RABINOWICZ: Friction and Wear of Mater. (1965), p. 167 [John Wiley & Sons]
- 14) R. H. TIEN and E. T. TURKDOGAN: Carbon, **8** (1970), p. 607
- 15) 小林三郎, 大森康男: 鉄と鋼, **64** (1978), p. 3
- 16) 宮坂尚親, 近藤真一: 鉄と鋼, **54** (1968), p. 1427