

討 7

乾式消火設備によるコークス品質向上効果

川崎製鉄㈱ 千葉製鉄所 春 富夫 才野光男 奥村和男 ○金子憲一
技術研究所 宮川亜夫 田口整司

1 緒 言

高炉装入物としてのコークスは、炉内において熱源、還元剤および通気維持材としての役割を有しており、コークス性状の変化が高炉操業に極めて大きな影響を及ぼす。さらにオールコークス操業に移行後、炉下部・炉壁部不活性帯の挙動や反応性にも注目が向けられ、コークス性状として冷間強度のみならず熱間性状も重要視されている。一方コークス製造方法に関しては、環境規制や省エネルギーの面から乾式消火設備（以下CDQと略記）が設置される方向にある。当所でもNO1CDQ（168t/H）が昭和52年1月、NO2CDQ（200t/H）が昭和56年4月にそれぞれ稼動を始め、乾式コークス使用割合が80%に達した。これらの背景をふまえ、当社では、湿式消火および乾式消火（以下WQ、DQと略記）によるコークス性状を比較し、基礎的研究や実機ベースでの「CDQ処理のコークス品質向上効果」について検討を行ってきた。本稿では、これら検討から得られた2、3の知見を報告し、討論の資料としたい。

2 DQコークスとWQコークスとの性状の比較

2.1 コークス水分

Table-1 に示すように、高炉槽下での水分測定結果¹⁾では、明らかにDQコークスの水分値は低下し、そのバラツキも大幅に減少している。

Table 1. Comparison of coke moisture between DQ and WQ-coke screened before No. 5 BF weigh hoppers

	\bar{X}	σ	n
DQ-coke	0.45	0.29	32
WQ-coke	2.13	0.78	42

2.2 コークス成分

各粒度区分毎のコークスの揮発分、灰分および真比重の測定結果では、WQコークスに比べ、揮発分が平均で0.16%低い。しかし粒度別毎の検定では、すべて有意水準95%で有意差はなかった。これらコークス成分は、間接要因としての石炭配合、コークス製造条件等の影響を大きく受けるものと考えられる。

2.3 コークスの粒度分布

Fig-1 に示すように、DQコークスは、コークワークで細粒側に粒度分布が片寄っており、平均粒径でも14%程度細粒化している。送骸過程を経た高炉槽下での粒度分布は、DQ、WQコークスともほぼ等しい粒度構成となっている。

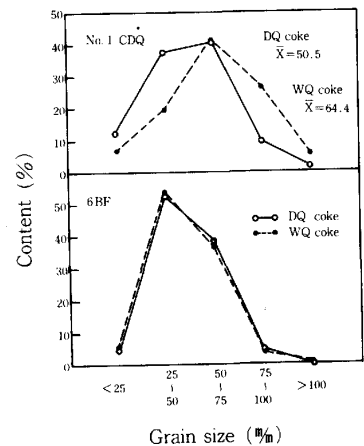


Fig. 1 Comparison of coke grain size distribution between DQ and WQ coke

2.4 冷間強度

Fig-2 に一例として、コークワークと高炉槽下での冷間強度の比較を示す。WQコークスに比べ、DQコークスは、コークワークで潰裂強度（ DI_{15}^{30} ）で1.8、摩耗強度（ TI_6^{400} ）で0.9、高炉槽下では、 DI_{15}^{30} で0.8、 TI_6^{400} で1.3程度それぞれの強度指数に上昇が認められる。

2.5 熱間性状

DQコークスは、WQコークスに比べ反応率、JIS反応性ともに2.3%低く、反応後強度は4.8%高い。

以上のようにCDQ処理により、コークス品質は、明らかに向上している。

3 CDQ コークス品質向上要因

CDQのコークス品質への効果については、既に報告²⁾があるが、高炉操業上関心の高いコークス強度の向上要因については、不明確な点が多い。

送散および貯散槽内降下過程を経た後、潰裂・摩耗の両強度指数ともに、開放亀裂の安定化による向上(スタビライズ効果)を示している。さらに、DQ、WQ両コークス間の強度差は、潰裂強度でやゝ縮小するものの、摩耗強度では拡大する傾向にある。この現象は、単なるスタビライズ効果では説明できない。この点を明らかにする目的で、コークスを脆性材料の一種とみなし、その破壊挙動の面からDQ、WQ両コークス間の差について検討³⁾した。

Fig-3は、コークス基質内の微細構造欠陥の評価として、円板試料(厚さ10%)の圧裂強度試験から算出した引張強度の分布曲線を示したものである。これから、CDQ処理が微細構造欠陥の減少効果を有していることが解る。

Fig-4は、コークスの巨視的な構造欠陥の評価として、塊コークス圧裂強度試験から算出した引張強度の体積依存性を示したものである。ドラム強度試験(150回転/分)後の試料を用いた試験の前後で、強度に差が生じることと、DQコークスの方が常に強度が高いことが判る。これは、DQコークスでは耐衝撃性が改善されていることを示している。

これらから、CDQの徐冷による、コークス破壊の元となるコークス基質内の微細構造欠陥の減少が、コークス強度向上の主要因であることが明らかとなった。

一方、熱間性状として反応率と反応後強度との対応関係を示したのが、Fig-5である。CDQ処理による反応後強度の向上は、コークスの反応性低下によるものであると考えられる。加えてDQ、WQコークスともに、反応性と反応後強度との関係が、ほぼ同一直線上にある。

Photo-1に、光学顕微鏡で塊内部を観察した結果を示す。WQコークスの亀裂は、急冷衝撃で気孔から気孔へ貫通した鋭い亀裂が多く、DQコークスでは、気孔を起点として尻尾のような亀裂が若干認められるのみである。これは、乾留時にDQコークスのような亀裂が生成し、消火時の散水でWQコークスのような亀裂へと進展するためと考えられる。

すなわち、CDQ処理による熱間性状の向上は、プレチャンパー内における均熱、置時間の延長による熱的効果が主たる要因であると考えられる。

4 高炉操業への影響

千葉第5高炉では、NO2CDQ稼働後全量DQコークス使用となった。そこで、CDQの官庁検査や修理等でWQコークス使用割合が、50~60%となった時を利用して、DQコークスの高炉操業に及ぼす影響を調査した。

Table-2から、ガス利用率向上、炉頂ガス温度上昇が認められる。補正

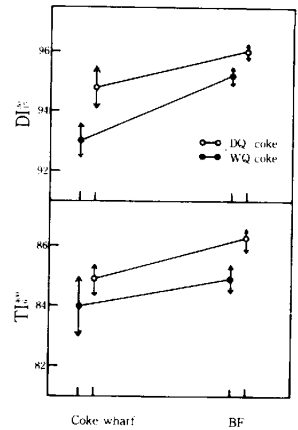


Fig. 2 Comparison of DI*, TI** index between DQ and WQ coke

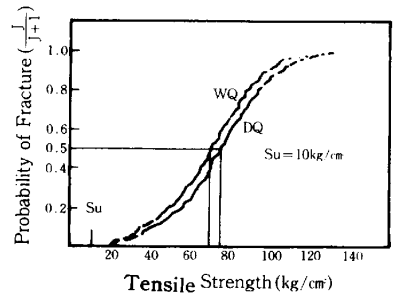


Fig. 3 Distribution of tensile strength (St)

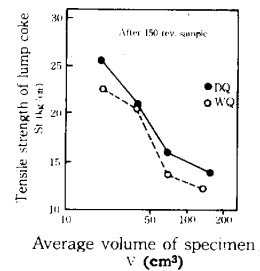


Fig. 4 Comparison of St and average volume of specimen

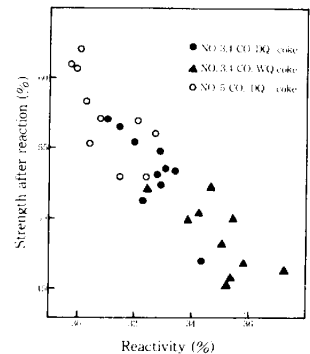


Fig. 5 Relation of strength after reaction to reactivity

コークス比についても、全量DQコークス使用時には、2～3 kg/t 低下している。

熱収支をみると、炉体損失熱項の低減が明らかである。以下に、これらの現象に関するDQコークスによる影響について考察する。

4、1 水分低下の影響

コークス水分の低下は、炉頂ガス温度に関係する。コークスの1%程度の水分差は、昇温と蒸発熱とで考えると、ほぼ7℃の炉頂ガス温度変化に相当する。実績では、コークス水分1%当り6～14℃とばらついている。

炉頂ガス温度は、ガス流分布制御で左右される可能性が大きい。そこで、ムーバブルアーマの設定パターンが同じ2つの時期での、炉頂温度分布の比較をFig-6に示す。固定ゾンデ(装入物上)の温度の半径方向分布は、WQコークスが増すと、中間部温度が下降し、中心温度上昇および周辺部温度差増大とともに、ガス利用率が低下する傾向を示した。すなわち、コークス水分1%低減当り、炉頂ガス温度で20℃上昇し、ガス利用率で1～2%向上する結果となった。

4、2 冷間強度向上の影響

DQコークスの使用量が増すと、高炉発生ダスト量およびカーボン含有量が低減する。これは、付着混入粉と炉内発生粉との減少を意味している。

Fig-7に示すように、WQコークスが増すと、シャフト上段・中段部と羽口付近での圧力損失が大きくなっている。

解体調査の報告では、コークスの粉化は、融着帯部から徐々に起り、羽口部で急激に増大している。反応後強度低下時、炉腹部で発生したコークス粉は、ガス流速の遅い場所に蓄積し、次第に羽口部へ落下してレースウェイ構造を変化させるとの報告例⁴⁾もある。これらから、DQコークスの耐粉化性は、冷間強度向上(特に摩耗強度)が寄与しており、シャフト上段から中段部での通気性改善につながっているものと考えられる。

水分低下、冷間強度向上の効果として、高炉炉内塊状帯上部での熱的余裕が鉱石の昇温をすすめ、一方、コークスの耐粉化性が、通気性改善によってガス利用率の向上につながるものと考えられる。

4、3 熱間性状向上の影響

コークスの高炉内挙動を調査した実験室試験で、以下の3点が確認されている。⁵⁾

- 1) コークスの基質強度は、ソリューションロス反応の進行に伴い直線的に低下する。反応温度950～1200℃の範囲では、律速形態によらず強度低下は、反応率によって一義的に決まる。

DQ-coke

WQ-coke



Photo 1. Comparison of inner structure of lump coke (x250)

Table2 Operating results of each period (Chiba No.5 BF)

Period	I		II	
	WQ-COKE	DQ-COKE	($\frac{WQ}{DQ}$)-COKE	DQ-COKE
COKE RATE kg/t-pig	461.8	462.3	482.6	474.8
BLAST TEMPERATURE °C	1167	1130	1091	1072
BLAST MOISTURE gr/Nm ³	30.0	35.7	26.5	12.8
SINTER RATIO %	70.8	75.5	76.9	77.3
SLAG RATE kg/t-pig	293.9	307.8	322.6	319.7
COKE ASH %	10.9	11.1	11.7	11.7
[Si] %	0.38	0.31	0.39	0.41
CO GAS UTILIZATION %	51.4	53.1	50.5	51.3
TOP GAS TEMPERATURE °C	124	143	147	152
PRODUCTION t-pig/day	4663	4668	4564	4555
CORRECTED COKE RATE kg/t-pig	461.8	459.2	470.7	467.5
DECREASED in COKE RATE by DQ-COKE	2.6		3.2	

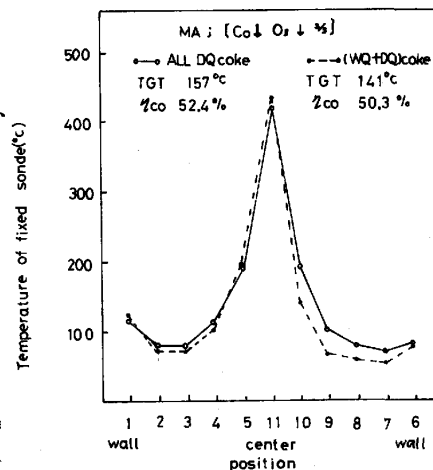


Fig6 Comparison of fixed sonde pattern

2) 反応率が40%を超えると、急激にコークスの粒径低下が生じる。

3) 高温域における空気との燃焼反応下でのコークス基質低下は、表面層に限られている。

従って、試験反応温度が1100℃である反応後強度の向上は、高炉炉内における塊状帯下部および融着帯でのコークスの劣化低減に寄与するものと考えられる。

反応後強度が上昇すると、レースウェイに落下してくるコークス粒度は大きく、粉は少なくなる。これは、炉腹部でのサンプリングの粉分布と一致しているとの報告⁶⁾や、Fig-7に示すように、DQコークスの使用量が増えると、羽口付近での通気性が改善される方向にあることから、熱間性状の向上が、炉腹部での耐粉化性に寄与していることを示唆している。

一方、羽口部では、燃焼反応がコークス表面であることから、DQとWQ両コークスでの差はないと考えられる。熱間性状の向上は、羽口部での粉化性に影響を与えず、レースウェイへのコークスの安定した供給を維持することと、レースウェイ自体の形状を安定化することに寄与していると考えられる。

反応性については、レースウェイの安定化でガス流れの適正化が確保され、反応性低下に伴い間接還元帯領域が大きくなること⁷⁾と、炉頂部での温度分布に現れるように、ガス流分布が改善されたこととが、相俟ってガス利用率の向上と炉体損失熱項の低減につながるものと考えられる。

5 結 言

最近のガス流分布制御技術の進歩により、WQコークス使用時などの外乱因子の影響を、減少させることができるようになった。反面、CDQ処理コークスの影響のみを摘出することは、極めて困難な状況にある。今後、より定量化をはかるには、炉内高さおよび径方向での温度分布、ガス流分布を把握することや、炉腹・羽口部でのサンプリング測定に加えて、羽口前高速カメラ等の炉内状況を直接把握して行くことが必要である。

一方、高炉操業自体、エネルギー動向の対応を強く要請されている。「CDQ処理のコークス品質向上効果」を、単に原料炭配合等に反映するのみではなく、乾式除塵や炉頂ガスタービン等を含めた全体系としての操業および運転条件の最適化にも反映して行くことが重要である。

参考文献

- 1) Y. Takizawa, M. Yasuno, K. Hayase, K. Okumura, and Y. Karikome; Ironmaking Proceedings AIME 41 ('80)430
- 2) 美浦、原口、西、古牧、小串; 鉄と鋼 66 ('80)P1277
- 3) 宮川、伊藤; 鉄と鋼 67 ('81)S797
- 4) 阿部、奥田、山口、中込、中森、西、原口、須賀田; 鉄と鋼 69 ('83)S90
- 5) 宮川、嵯峨、神下、谷原; 鉄と鋼 66 ('80)A21
- 6) 阿部、奥田、山口、中込、森井; 鉄と鋼 69 ('83)S85
- 7) 全、館; 鉄と鋼 61 ('75)P935

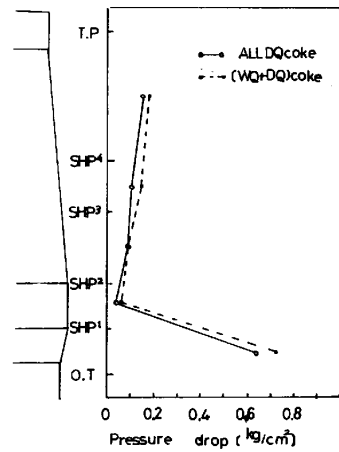


Fig7 Comparison of pressure drop