

低温窯出コークスの直接加熱による品質改善条件

前野 幸彦*・原口 博*・佐藤 洋史*²

Direct Heating Conditions of Coke Pushed out at Lower Temperature

Yukihiko MAENO, Hiroshi HARAGUCHI and Hiroshi SATO

Synopsis : In order to improve the heat efficiency and productivity in conventional coke oven, the cokemaking process combining carbonization in a coking chamber and direct heating was investigated. The concept is that the coke pushed out with lower temperature rather than conventional method is post-heated directly by combusting the residual volatile matter in the coke to complete the carbonization. Coke properties and coke strength were investigated with the decrease in final coke temperature, and the effect of direct heating on the improvement of coke qualities and the heating conditions were studied in a test coke oven based on the mathematical estimation for the temperature change in a coke lump. Coke quality deteriorates as final coke temperature decreases and especially when final coke temperature drops below 800°C, the deviation of coke properties across the oven width enlarges which results in marked deterioration of coke quality. From the analysis of mathematical estimation, the temperature in a coke lump, which is pushed out with the temperature of 800°C at the center of the oven width, would be uniform and increase over 1000°C in a few minutes by direct heating if the ambient temperature could be kept at 1100°C. The result was obtained from the test oven that the coke pushed out at 800°C and post-heated had a strength equal or superior to that of ordinary coke.

Key words : coking ; carbonization ; direct heating ; coke ; coke property ; coke strength ; coke temperature.

1. 緒言

近年、コークス製造コストの低減に向けて種々の対策がなされてきており、操業コストの中で大きな比率を占める乾留熱量低減については、自動燃焼制御設備や石炭調湿技術の導入によって大きな進展をみせたが、製造コストのより一層の低減に対する新たな取り組みが必要とされる状況にある。

また、現在の室炉法の本質的な課題の一つに建設時の投資コストが高いということが挙げられ、リプレイス時期を21世紀初頭に控えた現在、新たなシーズ発掘が望まれるところである。

このような観点からは、炭化室からの窯出し時のコークス最終到達温度を低下させる方策が有力な手段として考えられる。

この可能性を模索するため、これまで、コークス最終到達温度低下に伴うコークス性状の挙動¹⁾、コークス温度、加熱条件、石炭装入嵩密度、荷重条件などの乾留条件がコークス品質に及ぼす影響についての研究が報告されている²⁻⁵⁾。

現行の室炉法によるコークス製造プロセスを前提とした場合、適用できる施策には制約があるが、コークス最終到達温度が低い場合でも再加熱によりコークス冷間強度は通

常コークスと同等に改善される³⁾という知見もあり、現状、コークス乾式消火設備(CDQ)の装備が一般的になっていることを考え合わせると、炭化室での乾留とCDQでの再加熱を組み合わせることができればコークス製造プロセスの大幅な効率化となり得ることが考えられる。つまり、炭化室での乾留は必要最低限に留め、コークス品質上必要な温度までの加熱はCDQプレチャンバー内で直接加熱で行おうとするものである。

本研究では、このような考えのもとに、最終到達温度の低いコークスをそれ自身に残留する揮発分の燃焼によって再加熱した際のコークス性状の変化と再加熱条件について検討した。

2. 実験方法

2・1 乾留方法

装入炭は実炉配合炭(装入炭水分9%)を用い、1/4t試験コークス炉(炉幅450mm)で乾留を行い、コークス最終到達温度の低下に伴うコークス品質とそのばらつきの変化を調査した。

乾留条件は、フリー温度1150~1250°Cとし、コークス最終到達温度(炉幅方向コークス層中心部温度)が700~1000°C

平成7年10月31日受付 平成8年1月18日受理 (Received on Oct. 31, 1995; Accepted on Jan. 18, 1996)

* 新日鐵化学(株)君津製造所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Chemical Co., Ltd., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

* 2 新日鐵化学(株)君津製造所 (現; 秘書・人事部) (Kimitsu Works, Nippon Steel Chemical Co., Ltd., now Secretary & Personnel Dept.)

の各水準で窯出しを行い、コークスを湿式消火した後コークスの性状を調査した。炉幅方向の性状変化については炭化室炉長方向、炉高方向中央部の炉幅中心から片側のコークスを炉幅方向に3分割して調査し、残りの全試料は落下試験機で3回落下処理後、コークス強度等を測定した。

2・2 コークス再加熱方法

コークスの空気導入による燃焼再加熱実験は、コークスを熱間状態のまま静置式の加熱装置⁶⁾および、1/4t試験炉1窯分に対応し、実機CDQプレチャンバーでの再加熱条件を考慮した試験装置(CDQシミュレーター；内径1270mmφ、内容積1.5m³、回転式)⁷⁾に装入して行った。

静置式加熱装置では、炭化室炉幅方向中心部に相当する位置のコークスに空気を導入して燃焼加熱を行い、窒素冷却後、落下試験機で3回落下処理後のコークス性状を調査した。

CDQシミュレーターの場合は、ドラム10回転後空気導入による燃焼加熱を行い、窒素冷却の後、加熱条件と品質改善効果の確認試験を行った。

3. 実験結果および考察

3・1 最終到達温度低下に伴うコークス品質の変化

1/4t試験炉にてフリー温度1200°Cの条件下、コークス最終到達温度を700~1000°Cに乾留したコークスの品質変化をFig. 1に示す。

最終到達温度が1000°Cから700°Cに低下すると、コークスのドラム強度(DI₁₅⁹⁰)および反応後強度(CSR)はともに3ポイント程度低下し、800°Cより低温側でのCSRの低下が大きい。また、コークスの粉化状況についても、Fig. 2に示すよ

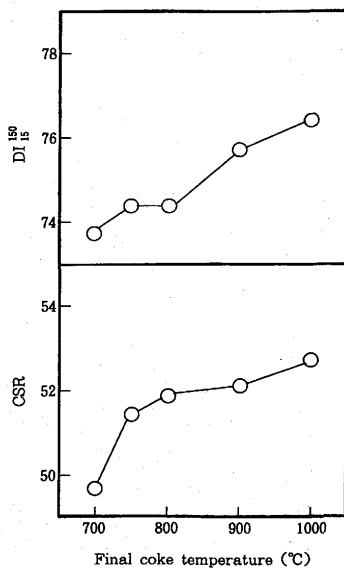


Fig. 1. Effect on final coke temperature on coke strength.

うに800°Cを下回るとコークス粉率が上昇し、コークスが脆弱になっていることが推察される。

この乾留試験の際の炉幅方向のコークス温度分布および炉幅方向のコークス性状をそれぞれFig. 3, 4に示す。

最終到達温度の低下に伴い、炉壁近傍のコークス温度、性状には大きな差はないものの、炉幅方向のコークスの温度差は拡大し、それに対応してコークスの性状差も大きくなっている。特に、炭化室中心部での残留揮発分の増加および真比重の低下が顕著である。Fig. 1, 2に示すコークス最終到達温度800°C以下での急激な品質低下や衝撃による粉化は、このような炉幅方向の性状差の拡大に見られるように焼きしまり不足によるものと推察される。

3・2 数値解析による再加熱条件の検討

直接加熱実験に先立ち、実操業上、CDQプレチャンバー内で直接加熱を行うことを想定し、コークス塊内再加熱条件を数値計算にて検討した。

解析モデルでは、炭化室の対称性と炉幅方向コークス塊1個を円柱と仮定し、軸対称非定常熱伝導方程式を用いた。

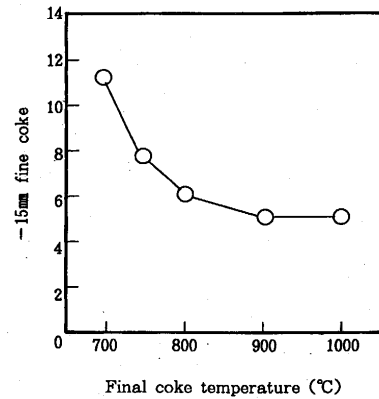


Fig. 2. Effect on final coke temperature on fine coke ratio.

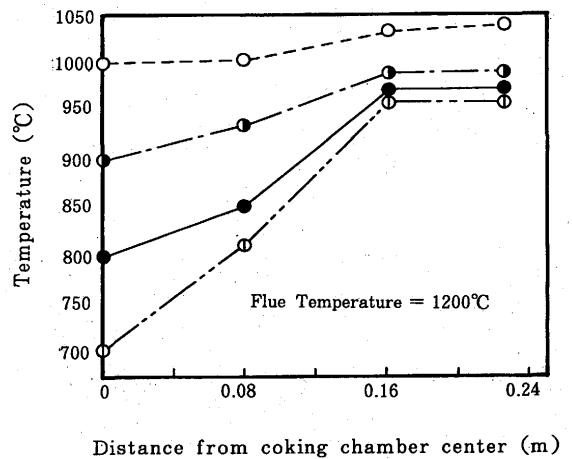


Fig. 3. Coke temperature profiles across the chamber width.

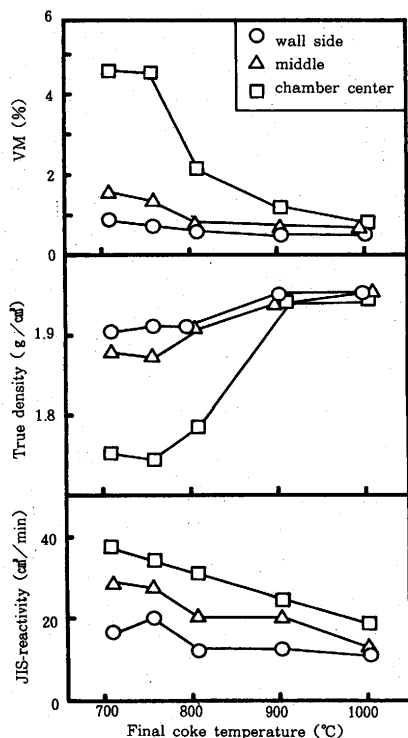


Fig. 4. Variation of coke properties across the chamber width during carbonization.

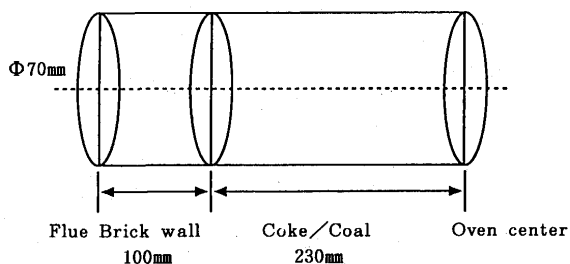


Fig. 5. Illustration of analytical model.

解析領域は燃焼室炉壁面から炭化室中心までとし、コークス塊の径を実炉コークス粒度を参考に70mmとした(Fig. 5)。計算はまず、押出時塊内温度分布を乾留過程の炉幅方向温度分布変化より求め、得られた塊内温度分布を初期条件としてコークバケットおよびCDQプレチャンバー内における塊内温度分布変化を推定した。

1) 押出時塊内温度分布推定

支配方程式を(1)式に示す。

$$\rho C_p (\partial T / \partial t) = (1/r) \{ (\partial / \partial r) \lambda r (\partial T / \partial r) + (\partial / \partial z) \lambda r (\partial T / \partial z) \} \dots \dots \dots (1)$$

初期条件は、石炭層温度60°C、炉壁温度1077°Cとし、境界条件は、燃焼室表面温度1077°C、その他の面は断熱条件とした。

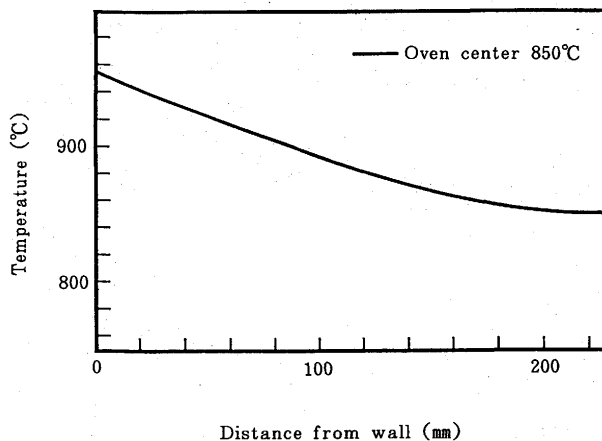


Fig. 6. Coke temperature distribution in coke oven.

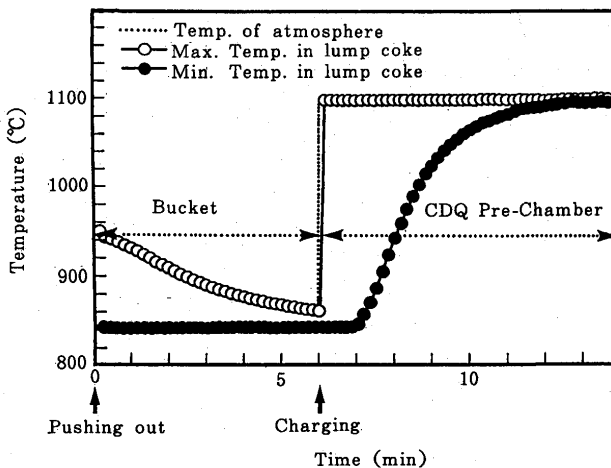


Fig. 7. Estimation change in coke temperature after pushed out from coke oven chamber.

2) コークバケットおよびプレチャンバー内の塊内温度推定

支配方程式は(1)式を用い、解析領域はコークス層のみとした。初期条件は1)で推算したコークス最終到達温度850°C時の塊内温度分布(Fig. 6)を与えた。境界条件は、塊表面での輻射伝熱のみを考慮し、コークバケット搬送中はコークバケット内の雰囲気温度を実炉でのコークス最終到達温度とバケット内温度の関係から与え、CDQ投入後はプレチャンバー内雰囲気温度を1100°Cと仮定した。

実際には、残留揮発分の燃焼熱も考慮せねばならないが、コークス表面の燃焼反応、コークス塊内の熱移動・物質移動などが複雑に絡み合っているため、ここでは便宜上輻射伝熱と伝導伝熱のみを考慮した。

プレチャンバー内コークス塊の温度変化、塊内の温度分布変化についての解析結果をそれぞれFig. 7, 8に示す。ここで、Fig. 7中の最高温度、最低温度はそれぞれコークス塊の表面温度、中心部温度を示す。

CDQプレチャンバー内にコークス投入後、空気を導入し

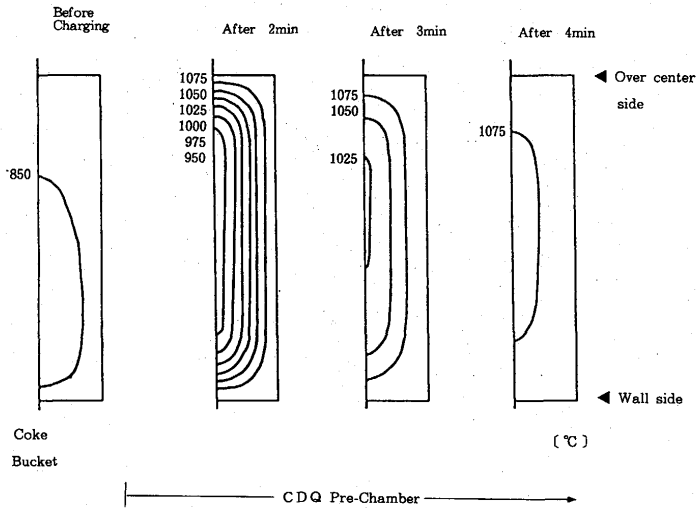


Fig. 8. Estimation temperature distribution of coke lump in CDQ pre-chamber.

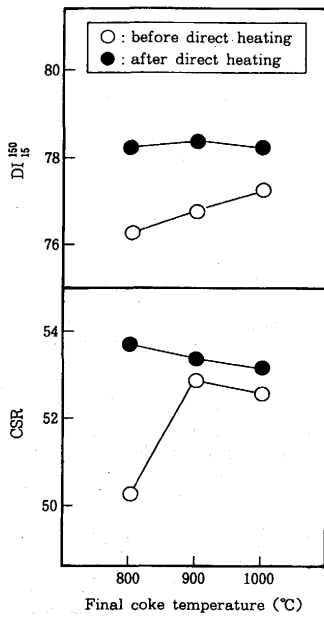


Fig. 9. Effect of direct heating on coke strength.

て再加熱が開始されたと考えると、周囲からの輻射伝熱によりコークス表面は急速に加熱され、塊内の最も温度の低い部分も塊内伝導伝熱により雰囲気温度まで速やかに昇温し、数分後には塊内の温度分布が均一化される結果となった。従って、コークスの直接加熱を行う場合、雰囲気温度を1100°C以上の高温に保持できれば炭化室内での最終到達温度の低いコークスでも通常コークス並の温度に昇温できる可能性が見いだされた。

3.3 直接加熱によるコークス品質の改善

1/4 t試験炉で乾留した最終到達温度の低いコークスを、静置式の加熱装置で残留揮発分の多い炉幅方向炭中心部に空気を導入し、残留揮発分の燃焼によって直接加熱した

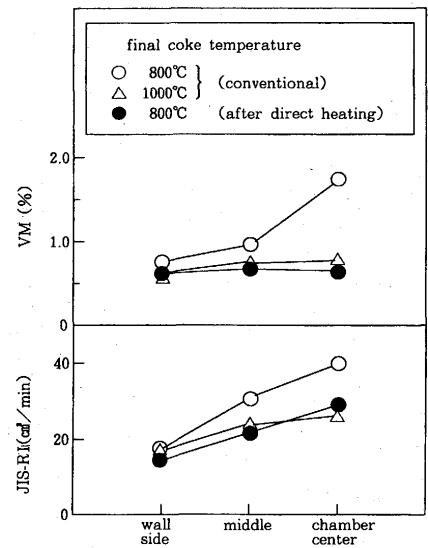


Fig. 10. Effect of direct heating on coke property distribution in coke lump.

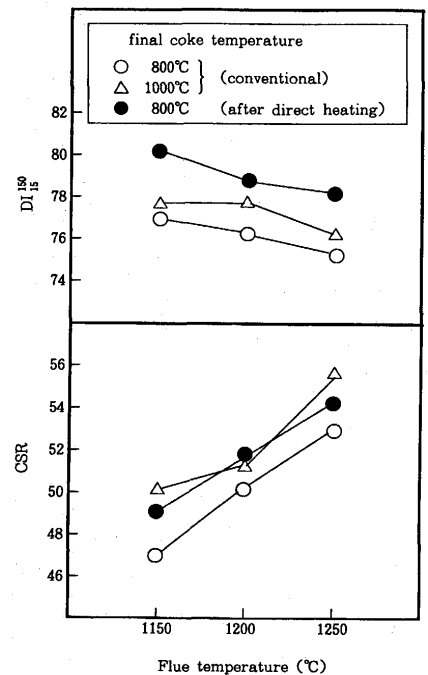


Fig. 11. Effect of flue temperature and direct heating on coke strength.

場合のコークス品質の変化をFig. 9に示す。加熱条件は、導入空気量10Nm³/t-coke、導入時間10分間で行った。

空気導入による残留揮発分の燃焼加熱により、コークスのDI₁₅およびCSRは向上し、コークス最終到達温度800~1000°Cの範囲ではほぼ同等のレベルとなった。さらに、Fig.10に示すように、コークス塊内の揮発分、JIS反応性は、最終到達温度が800°Cのコークスであっても、再加熱することで通常の最終到達温度が1000°Cのコークスと同等にまで均質化していることがわかった。この結果から、最終到達温

度の低いコークスの炭化室中心部に空気を導入することで、残留揮発分の燃焼によるコークス温度の上昇に伴うコークスの焼きしまりによりコークスの基質性状が向上し、コークス塊内性状が均質化した結果コークス品質が改善できるものと推察された。

さらに、フリー温度条件を1150~1250°Cに変化させてコークス最終到達温度800°Cで窯出しを行い、前述と同一の条件で再加熱した場合の品質改善効果をFig.11に示す。

コークスDI₁₅⁹⁰は、フリー温度レベルに関わらず最終到達温度1000°Cのコークスの値と同等以上に回復した。これはコークスがCDQシミュレーター内部でより高温まで昇温され、かつ脆弱な炭化室中心部の強度改善が進展したことを示唆しているものと思われる。

一方、CSRについては、いずれのフリー温度水準においても最終到達温度1000°Cのコークスと同等レベルに改善されたが、もともとのフリー温度差に起因するCSRの差までを解消するほどの効果は認められない。フリー温度が低下するとコークスの反応性が增大するが、空気導入による燃焼加熱ではこの反応性の増加を補填することは期待できないことを示している。

3・4 空気導入による直接加熱条件

CDQプレチャンバーに投入されるコークスは押出時や投入時の衝撃によって破碎され、粒度が変化する。また、コークス塊はランダムな状態で充填されるため、残留揮発分の多い尾部に優先的に空気を供給することは不可能である。従って、試験コークス炉においても実機CDQプレチャンバーでの状態を近似できるCDQシミュレーターを用い、空気導入による直接加熱条件および品質改善効果について検討を行った。

数値計算による結果を踏まえ、加熱時間を10分間に固定し、空気導入量の変化がコークス品質におよぼす影響を把

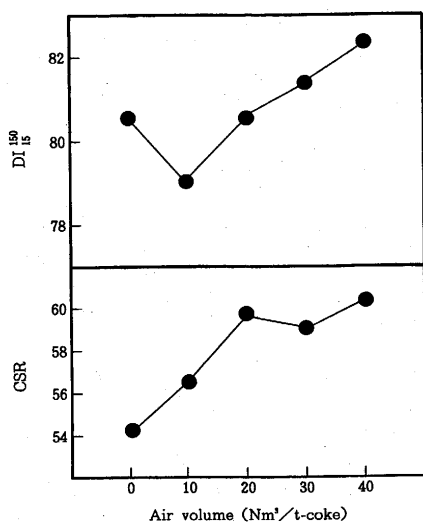


Fig. 12. Change in coke strength with air volume.

握するための試験を行った。

Fig.12に示すように、空気導入原単位が40Nm³/t-cokeまでの範囲では空気導入量の増加に伴ってコークスのDI₁₅⁹⁰およびCSRは上昇傾向を示した。

コークスの基質性状もFig.13に示すように改善されており、前述したようにコークス塊内の性状の均質化が進んだことによるものと考えられる。

これはコークスの昇温の効果であり、1/4t試験炉で求めた最終到達温度とコークス中残留揮発分の関係(Fig.14)からコークス最終到達温度を推定すると1000°C以上に昇温されていることがわかる。

さらに空気導入量を増加させた場合にはコークスの燃焼粉化の影響も予想され、また単位時間当たりの導入量によってもコークスの昇温効果は異なることも考えられ、最適加熱条件についてはより詳細な検討が必要である。

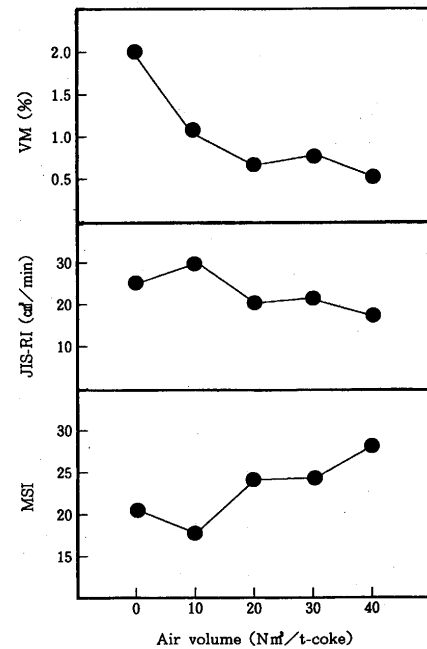


Fig. 13. Change in coke property with air volume.

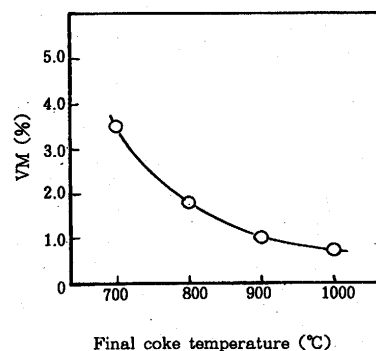


Fig. 14. Relation between final coke temperature and VM.

以上述べたような数値計算および試験炉での検討結果から、実操業でのCDQへのコークス投入ピッチは数分間隔であることを考え合わせると、CDQプレチャンバー内で最終到達温度の低いコークスを空気導入による燃焼加熱を行うことにより、コークスの投入ピッチ内でコークス品質が改善できる可能性が示唆された。

4. 直接加熱によるコークス品質改善技術の展開

炭化室内での最終到達温度の低いコークスをCDQプレチャンバー内に空気を導入して直接加熱する方法は、現行室式コークス炉における乾留末期の加熱効率の悪い範囲をCDQでの加熱に分担させて乾留を完結させるという、いわば二段乾留の概念ののったコークス製造プロセスであり、乾留熱量低減、生産性向上という効果を、現状操業でも次世代コークス炉でも享受できる可能性を秘めていると考えられる。

このプロセスを適用する場合のコークス最終到達温度の下限値についてはより詳細な検討および議論を要するが、上述の試験結果、コークスのマイクロ性状の変化に関する研究¹⁾の知見から考えると800°C程度であれば十分可能性があると思われる。

室式コークス炉に適用する場合には、品質改善以前の問題として炭化室からのコークスの押出可否の問題があり、コークスの最終到達温度が低くても安定的に押出が可能であることが必要条件である。

しかし、最終到達温度が800°C程度であればコークスの収縮は十分に進んでおり、X線CTによる乾留過程の観察²⁾からも炉壁温度が800°C程度以上となった段階から炉壁とコークスケーキの間にはクリアランスが形成され始めていることを考えると、炭化室内での乾留の均一化を図れば十分可能性があるかと判断される。この点に関しては実機規模での確認が今後の課題である。

5. 結言

コークス最終到達温度を低下させた際のコークス性状および空気導入による直接加熱を試みた場合のコークス性状変化を調査した結果、以下の知見が得られた。

(1)最終到達温度が低下するほど炉幅方向のコークス性状の偏差が増大し、最終到達温度800°C以下になると炭化室炉幅方向中心部のコークス性状が急激に悪化した。その結果、落下衝撃による粉化が増大し、コークス強度も大幅に低下した。

(2)最終到達温度の低いコークスに空気を導入して残留揮発分を燃焼させることによって再加熱した結果、空気導入手量 40Nm³/t-coke の範囲までは空気導入量の増加に伴ってコークス性状が均質化されコークス強度も向上した。

(3)直接加熱を行った際のコークスの温度は、残留揮発分量から推定すると1000°C以上に到達していると推定された。

記号

C_p : 比熱[J/kg・K]
 r : 半径方向距離[m]
 T : 温度[K]
 t : 時間[s]
 ρ : 密度[kg/m³]
 λ : 有効熱伝導率[W/mK]

文献

- 1) 西岡邦彦, 井上恵三, 三浦 潔: 燃料協会誌, 68 (1989), 138.
- 2) 鈴木喜夫, 板垣省三, 森下良彦, 塚田鋼二, 根本謙一: 鉄と鋼, 72 (1986), S853.
- 3) 山本保典, 有馬 孝, 奥原捷晃: 材料とプロセス, 1 (1988), 1004.
- 4) 板垣省三, 鈴木喜夫, 三谷成康: 材料とプロセス, 4 (1991), 133.
- 5) 岩切治久: 鉄と鋼, 78 (1992), 1314.
- 6) 原口 博, 荒牧寿弘, 片平英裕, 加来久典: 材料とプロセス, 4 (1991), 1107.
- 7) 関根秀人, 前野幸彦, 原口 博: 第93回コークス特別会, (1993), 21.
- 8) 原口 博, 片平英裕, 荒牧寿弘, 白石勝彦, 坂輪光弘: 材料とプロセス, 3 (1990), 991.