

安定と課せられた操業成績を達成するための状態を炉内に作る点にある。目指すべき操業状態に対し装入物分布制御諸元（ムーバブル・アーマ・ノッチ、ベルレス分配スケジュールなど）をいかに選択すべきかについては、数式シミュレーションによる理論的検討が適用されることもあるが、従来、実操業においては主にシャフト上部ガスサンプラーから推定される半径方向のガス流分布状態と炉況あるいは操業成績とを対応づけて、装入物分布の調整がなされることが多い。後者の手法は、現象論に基づく経験的側面が強いものであるが、過去の事例を多数集めて系統的に解析・整理することにより客観性のあるアクション指針を構築することができる。これをシステム化したものにNKKにおける装入物分布ガイダンス AI があり、京浜では過去の操業事例を知識ベース化、これを基に風圧変動低下の観点から、現状分析に照らして分布調整ガイダンスを出すシステム (Fig. 2.21) が、また、福山においては外乱によるガス流分布変動を回避するための装入物分布制御ガイダンスを出すシステムが、それぞれ開発されている。

2.6.4 高炉操業条件変化への対応

原燃料条件など操業諸元の変化に対して、操業の安定を維持して柔軟に対応すべく、装入物分布を適正化する努力がなされてきた。燃料コスト低減、コークス炉延命を狙った微粉炭多量吹き込みや原料コスト低減を狙った細粒焼結鉱の多量使用への対応などはその例であるが、いずれにおいても炉内通気性確保が第一課題となる。高Ore/Coke 装入を課す前

者においては、Ore/Coke 分布や粒径分布による半径方向ガス流分布調整のみならず、融着帯部通気性確保の観点から、鉱石ベースあるいはコークスベース調整による絶対層厚制御も有効な手段として適用されており、後者においては、細粒の炉内分布制御性を確保すべく粒度別の仕分け装入法が適用されている。

このような手法と上記の分布制御技術を組み合わせたきめ細かい装入物分布調整が、PC 比や細粒焼結鉱の使用量アップに寄与している。

2.6.5 まとめ

高炉の装入物分布は、Ore/Coke 分布と粒度分布とに分けて見ることができるが、最近 10 年間に於いて、後者への注目が高まってきた。これにはベルレス高炉の増加や細粒原料の使用が背景にあることももちろんであるが、そのみならず、炉内状態分布のより高精度な制御が装入物分布制御に課せられてきていると見るべきであろう。装入物分布をきめ細かく制御するにおいて、制御の自由度を増すことは大きな手段ではあるが、それとは裏腹に外乱による変動因子の取り込みにつながる場合も多く、目指す分布を確実に作り込むための技術開発もますます必要になってくると考えられる。

今後、安定操業はもとより、安価原料の使用や生産弾力性の向上さらには炉命延長など、装入物分布制御に対する課題は、多様かつ重大になってくる。このようなニーズに的確に対応すべく装入物分布制御技術のさらなる進歩を期待する。

2.7 PCI 多量使用技術の発達

高炉に微粉炭を吹き込むアイデアはすでに 150 年前に提案されている。しかし、粉体の輸送技術の未発達のため、十分な進歩を見ないうちに、輸送の容易な重油吹き込みが一般化した。1973 年と 1979 年のオイル・ショックによる重油価格高騰により、いったんオールコークス操業に移行した。しかし、羽口先でのコークスの燃焼だけで時定数の大き

な大型高炉の炉熱を制御することはむずかしく、重油に代わる補助燃料が求められた。また、コークス炉の老朽化対策がクローズアップされ、コークスの一部を石炭のまま高炉で使用してコークス炉の負荷を軽減し、炉寿命の延長を図ることが考えられた。

2.7.1 微粉炭吹き込み量の推移

Fig. 2.22 に 1985 年以降の微粉炭吹き込み量の推移を示す。微粉炭吹き込み (PCI) を行う高炉の基数はほぼ直線的に増加しているが、単純平均した年間平均吹き込み量は 1986 ~ 1989 年に 25 ~ 30 kg/THM で停滞した後、1990 年以降著しい伸びを示している。1994 年 4 月現在、稼働中高炉 30 基のうち微粉炭吹き込みを実施している高炉は 27 基に上っている。この間の各年度の最高吹き込み量は、自前のコークス炉を持たない(株)神戸製鋼所 No. 3 高炉によって達成されている。

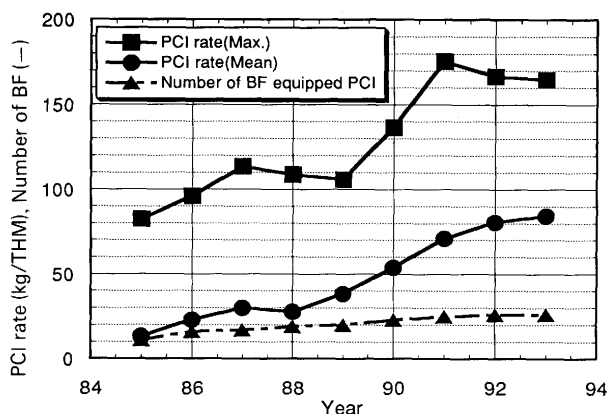


Fig. 2.22. Changes in pulverized coal injection rate.

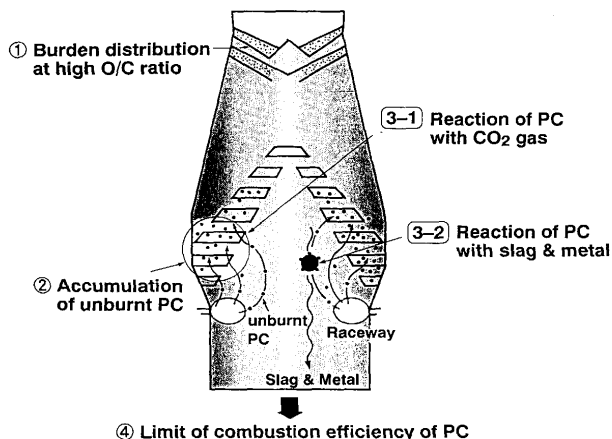


Fig. 2.23. Technical problems for high injection rate of pulverized coal (PC). (Proc. 5th Japan-Nordic Countries Joint Symp. on Science and Technology of Process Metallurgy, Helsinki, (1992))

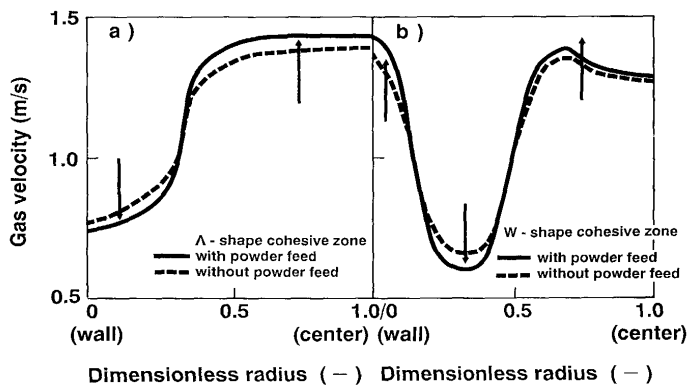


Fig. 2.24. Radial distribution of gas velocity. (Tetsu-to-Hagané, 77 (1991), p. 1267)

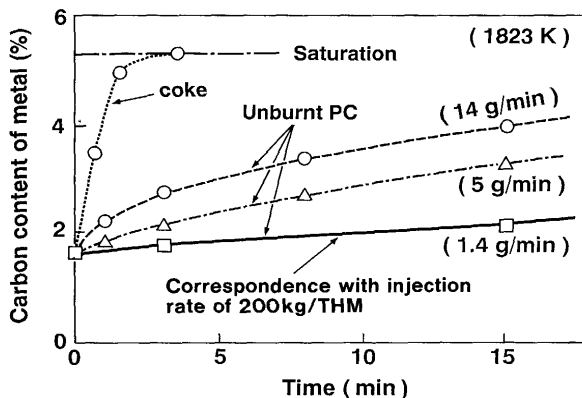


Fig. 2.25. Comparison of reaction rate with CO₂ gas of unburnt PC and coke fine. (Proc. 5th Japan-Nordic Countries Joint Symp. on Science and Technology of Process Metallurgy, Helsinki, (1992))

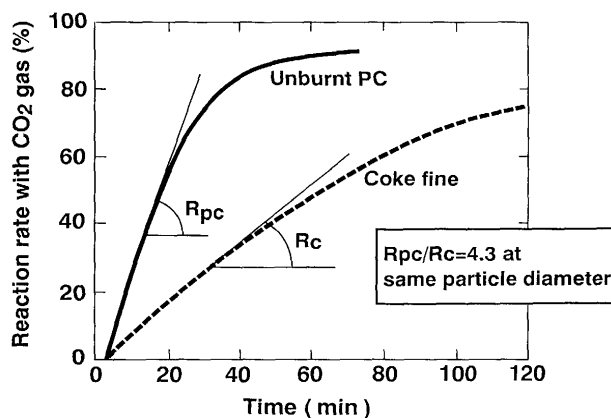


Fig. 2.26. Dissolution rate of carbon from PC to metal. (Tetsu-to-Hagané, 78 (1992), p. 1187)

2.7.2 微粉炭吹き込みのための研究開発

微粉炭を多量に吹き込むためには、①レースウェー内での燃焼率を高めることが有効であると考えられた。高炉操業上の課題としては、Fig. 2.23に見られるように②未燃焼微粉炭の炉内蓄積と、③その消滅挙動の解明および④高Ore/Coke (O/C) 条件下での装入物分布が検討されている。

(1) 燃焼率の向上

微粉炭吹き込み開始当初から、空筒炉による燃焼実験が行われてきた。その結果、微粉炭の燃焼率を高めるためには吹き込みランスの先端位置を羽口先端から遠ざけることが有効であるが、この距離は羽口先端内面への灰分付着を抑制する意味から限界があると結論づけられた。その後、レースウェー部はコークスが旋回しており、O₂ポテンシャルが急激に変化することから、空筒炉の結果は直接活用できないと考えられ、コークス充填層による燃焼研究が行われた。その結果、羽口部のガス圧力を低減する意味から微粉炭は羽口先端近くで吹き込むことが有効であり、また微粉炭粒子径を適当に選べば、高い燃焼率を確保できることが判明した。微粉炭の粒子は、気流輸送の安定性の観点から数十ミクロンとか

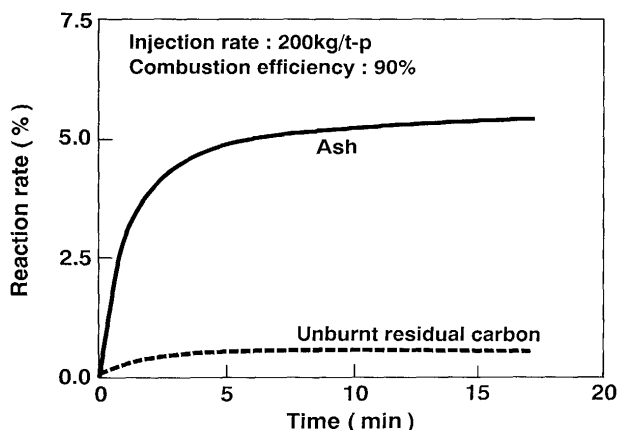


Fig. 2.27. Reaction rate of unburnt pulverized coal to molten slag. (Tetsu-to-Hagané, 78 (1992), p. 1187)

なり細かく粉碎されているが、最近では粉碎ミルの生産性を高めるために徐々に増大している。また、炭種は燃焼性の高い高揮発分炭が主に使用されている。

(2) 未燃焼微粉炭の炉内蓄積と操業指針

レースウェーに吹き込まれた微粉炭粒子は急速加熱によ

り、流動化し、揮発分を放散して気孔の多いバルーン状のチャーを形成する。しかし、灰分に取り込まれたカーボンは未燃焼微粉炭として炉内に蓄積する。この蓄積場所は、逆V型融着帯では炉壁近くの根部に、W型融着帯ではWの下端部である。その結果、Fig. 2.24のように、逆V型融着帯では未燃焼微粉炭の蓄積により中心ガス流れが助長され、W型では周辺流が助長される。

したがって、微粉炭の多量吹き込み操業においては、逆V型融着帯を確実に維持することが重要である。

(3) 炉内における未燃焼微粉炭の消滅機構

基礎研究の結果によれば、高炉内の未燃焼微粉炭はコークス粉に比してCO₂と反応しやすい(Fig. 2.25)。このことは炉内で起こるソリューション・ロス反応の相当部分を未燃焼微粉炭が負うこととなり、塊コークスの反応による劣化を軽減することとなる。

炉内高温部では、未燃焼微粉炭中のカーボンは溶鉄に溶けにくく(Fig. 2.26)、未燃焼微粉炭中の灰分は滴下するスラグと容易に同化して(Fig. 2.27)、消滅する。

これらの事実は微粉炭がレースウェー内で完全に燃焼・消滅されなくとも、炉内で消滅する可能性のあることを示しているが、反応消滅される最大量は今後の課題として残されたままである。

(4) 微粉炭多量吹き込み時の装入物分布

微粉炭の多量吹き込み時には装入されるコークス量が減少してO/Cが増大する。したがって、炉内の圧力損失が増大し、わずかなガス流分布の乱れが炉況に著しい影響を及ぼす可能性がある。

(株)神戸製鋼所では、高炉操業を安定に維持するためには中心ガス流の確保が必要不可欠との考えに基づき、コークス中心装入技術を開発した。この技術は高炉中心の狭い領域に

コークスを装入し、高炉の中心に細いコークス柱を形成して中心ガス流を確保し、逆V型軟化融着帯を形成させるものであり、ムーバブル・アーマーのきめ細かい制御と合わせて、同社が微粉炭多量吹き込み操業を継続する上での最大の武器となっている。また、中心に装入されたコークスが炉芯を形成することが判明しており、微粉炭多量吹き込み操業においても、炉芯の通気、通液性が良好に維持されている。

2.7.3 今後の目標と課題

微粉炭吹き込み量の第一段階目標は200 kg/THM以上におかれており、各社でたゆまぬ努力が続けられている。これを達成するための手段として、

- ① 焼結鉱とコークスの性状の改善; 特に焼結鉱の還元粉化性と強度の向上, コークスの強度向上
- ② 装入物分布制御の高精度化; きめ細かい周辺ガス流の制御
- ③ 羽口先における微粉炭燃焼率の向上
- ④ 炉芯の状況を把握, 制御するための炉芯検知センサーなどのバックアップ設備の設置

が考えられている。

加古川 No. 1 高炉では月間平均で190 kg/THM以上の吹き込みを1994年7月現在で7ヵ月以上も安定して継続しており、1994年4月には200 kg/tTHMを、また6月には204.1 kg/THMを達成しており、予想より相当早く目標が達成されるものと考えられる。

第2段階の目標は250 kg/THMの吹き込みが考えられているが、これを達成するためには考え方の飛躍とともにいっそうの研究開発が必要であると考えられている。

2.8 高炉の機能拡大

1970年代までに出現した巨大高炉を支える技術的な基盤は、a) 通気確保のための整粒, b) 被還元性に優れた塊成鉱, c) 強度に優れたコークス, d) ガス量確保のための高圧化, e) コークスの高速燃焼のための熱風高温化と酸素富化送風, そして、f) 装入物分布制御, である。以上の技術要求を満たし、かつコストを低く維持するための安価原料を使用した高生産を実現するべく、効率的な操業技術の確立に努力が傾注されてきた。近年ではさらに、労働環境・環境保持へのさらなる対応、経済変動・生産性へのより柔軟な対応、など社会的要求に対処するためいっそうの技術革新が求められている。

一方、高炉の巨大化は、高炉および周辺設備の膨大な建設費を必要とし、その運転とともに経済的、技術的柔軟性を欠く原因となっている。すなわち、一方の流れとして小型化への要求がある。酸素高炉、超高压高炉、予備還元と最終還元

に機能分化した諸種の新プロセス、そして、高炉羽口前高温部の活用=超複合送風技術、などがそれである。

以上の諸条件を背景として、従来高炉の技術と機能の拡大をめざす動きが活発となっている。大別すると以下にまとめられる。

- 1) 原燃料使用品種の拡大: 小塊・高反応性コークス, 小粒焼結鉱, 劣質鉱石(高Al₂O₃, 褐鉄鉱), スクラップ
- 2) 羽口前高温部の有効利用: 微粉炭, 鉱石, フラックスなどの吹き込み, 廃棄物処理
- 3) 燃料比弾力化技術: 高反応性装入物の使用, CO₂低減, 鉄鉄・エネルギー(エネ鉄)同時生産技術
- 4) 出鉄比弾力化技術: 大幅(1.5~2.5 t/d・m³)かつ短時間内の可変
- 5) 鉄鉄成分調整技術: Si, S, P, C