

鉄鋼需要の伸びに端を発したコークス供給不足と、既存のコークス炉の老朽化に伴う稼働率の低下に対応するため、約20年ぶりとなるコークス炉の新設計画が発表された。現時点で建設に入っているものは、既存炉の増設ないしは、休止炉の基礎等を流用した部分的炉更新であるが、SCOPE21技術を採用した全面的新設の検討も開始されており、従来培ってきたコークス製造技術を活用して新しい時代の要求に応えるコークス炉の建設が実現していくものと、大きな期待がもたれている。

1.2 焼結用低品位鉱石の多量使用と生産性向上技術

1.2.1 褐鉄鉱多配合操業

最近の焼結鉱製造にあつては、豪州産の褐鉄鉱（低品位高結晶水鉱石）であるピソライト鉱が多量使用されるようになった。また、直近では微粉比率の高い褐鉄鉱であるマラマンバ鉱の使用比率が上昇しつつある。現在、鉄鉱石焼結原料の半分近くが褐鉄鉱となっており、焼結鉱の歩留まりおよび生産性の低下の克服が大きな課題となっている。

焼結鉱製造における褐鉄鉱の悪影響因子として、造粒工程における原料粒子内への吸水量の増加や結晶水分量の増加による吸熱反応量の増加、結晶水分解や熱割れによる気孔の内包、および同化反応を起こしやすいことに起因する接着結合や通気性の悪化が挙げられる。褐鉄鉱の配合増加にともない焼結パレット内での原料充填密度は低下する。これは褐鉄鉱のもつ結晶水と多孔質構造に起因しており、パレット内での焼結物の充填は粗な状態で、焼結ケーキ内では空隙構造に大きな変化が起こる。焼結層には重力や風力が高さ方向にかかっており、焼結過程で生成した融体は下方に移動し、また溶融同化状況に応じて焼結層は軟化収縮して、通気空隙を閉塞させる作用も働いている。従って、溶融同化が過剰になり過ぎると通気のための空隙が収縮閉塞し通気性が悪化するの、適正な焼結ケーキ構造を維持するように焼結化反応は制御される。また、褐鉄鉱にしる、微粉鉱にしる融体との同化性が良好であり、その結果、同化後の融体流動性が急激に低下する特徴（難焼結性と言われる）があり、これが歩留まりと生産性を悪化させるゆえである。

一方、高炉操業にあつては高微粉炭比操業に加えて、直近では低還元材比・高出銑比操業が目指され、焼結鉱品質への要求も極めて高いものになっている。このような高い品質要求は、より焼結鉱の歩留まりおよび生産性の低下を助長する傾向があり、その改善技術が強く求められている。

改善技術として、悪化した焼結融体の流動性を高める目的で、FeO成分を含有する磁鉄鉱系鉄鉱石、ミルスケールお

よび製鋼スラグなどを配合して、褐鉄鉱配合率上昇に努力がなされた。さらに、種々の原料複合造粒技術、原料装入分布制御技術および焼結層通気改善技術が開発実用化され、褐鉄鉱石の多配合操業に寄与している。

1.2.2 焼結原料の造粒技術

造粒バインダーとして、生石灰を焼結機上で副生する技術、ペーパースラッジなど有機系バインダーの添加技術が開発された。また、新たに微粉の分散作用が重要との認識の基に分散剤の添加技術も開発された。

造粒設備に関しては、ドラムミキサーによる造粒処理だけではなく、原料粒子間での水分分散をより確実にする高速攪拌ミキサーが普及し、造粒粒子内の結合を強固にするためディスクペレタイザーが普及している。別個の原料を独立して配合し造粒を行う複合造粒処理方法が6製鉄所に普及した。改善目的は還元粉化性や被還元性などの品質改善を主体とするものや生産性改善を主にするものなど幅広く、目的に応じて原料が選択分割される。原料の分割選択銘柄は種々異なり、CaO成分ばかりでなく Al_2O_3 成分、炭材成分、粒度分布およびバインダー能などが指標とされる。また、造粒処理設備フローも、高速攪拌ミキサーおよびドラムミキサーで造粒処理を行う分割造粒法や、高性能篩で分級処理を行い篩下部分を高速攪拌ミキサーおよびディスクペレタイザーで、より確実な擬似粒子形成を計る選択造粒法がある。

1.2.3 焼結層の分布制御および通気改善技術

焼結層高さ方向にあつては、ヒートパターン、通気抵抗や荷重が異なり、高さ方向のどの場所にあつても、強度と層通気確保の両立が必要であり、燃料や溶剤成分などの高さ方向成分分布制御法、焼結層を強制的に穿孔する方法、および上層部からの荷重を軽減する方法など、焼結層高さ方向に対応した層構造制御技術が開発され、効果を発揮している。

高さ方向における原料分布制御の視点は、充填密度、フリーカーボン濃度、CaO成分濃度、FeO成分濃度、粒度、および雪崩現象など幅広く複数の制御因子が意識されるようになり、また焼結層の上層部と中・下層部で独立して制御できる複合システム化がはかられるようになった。装入装置もスリットを活用したものの他に、磁力やローラーを活用したものが登場した。

最近の褐鉄鉱多配合における焼結層の通気性は、単純な擬似粒子径の低下による通気性の悪化ではなく、焼成時に焼結層内の通気網空隙を確保する柱構造の軟弱性に起因する軟化収縮によるもので、空隙確保のための強制的な穿孔を行う通気棒や通気板の挿入技術が実施されている。さらに、焼結ケーキの重力荷重を軽減するために磁場をかけ磁気浮揚力で焼

結ケーキ荷重を緩和する方法や底部グレートに支持スタンドを設置する方法が開発された。後者は、実用化されることにより、焼結ケーキ中下層部に上層部荷重がかかるのを抑制して通気性を向上し生産性改善に効果を発揮している。

今後、褐鉄鉱をはじめとする低品位鉱の増加に際し、原料処理に関する造粒操作および装入操作の複合化検討が重要と考えられる。

1.3 塊成鉱の品質改善技術

1.3.1 焼結鉱製造の背景と最近の焼結鉱品質の推移

鉄鉱石資源が大きく変わりつつある。安価な豪州産ピソライト鉱石を多量に使用する努力がなされる一方、良質なヘマタイト鉱石に代わって開発されたマラマンバ鉱石の使用が始まった。いずれも従来鉱石に比較して多孔質でかつ結晶水を多く含む鉱石であって、焼結時に生産性・歩留が低下する難点がある〔前節参照〕。

一方、高炉操業では高出鉄比を前提として高微粉炭比操業が指向された。それを達成するために、焼結鉱の品質では、炉内通気性・通液性の改善の観点から高温性状が一層重要視されつつある。

このような背景の下に、焼結鉱の低スラグ化 (SiO_2 含有量の低減) が志向された。主に蛇紋岩使用量の削減を中心に実施されたので、 MgO 含有量も低下した。この結果、従来品質では、被還元性 (RI) の改善がもたらされた。また、 MgO が同時に低下したこと、 Al_2O_3 レベルを維持し、 FeO を上昇させたことで冷間強度 (TI) もむしろ向上してきている。しかし、還元粉化性 (RDI) の悪化は防ぎ得ず、操業基準値自体の緩和を余儀なくされた。

1.3.2 焼結鉱製造に関する基礎理論面での進展

焼結過程で生成する融液の量と粘度は焼結現象を支配する基本的パラメータである。また、主な結合組織となるカルシウムフェライト (CF) 相の構造は焼結鉱品質を決定づける。高温プロセス部会、焼結研究会を中心に研究活動を展開し、焼結製造プロセスの基盤となるこれら学術的基礎知見の整備に努めた。

融液生成や鉱物相は、従来 SiO_2 - CaO - Fe_2O_3 系あるいは SiO_2 - CaO - FeO 系の状態図から類推するしかなかったが、融液生成で問題となる SiO_2 - CaO - FeO_x 系における酸素分圧の影響や Al_2O_3 や MgO 添加の影響が新たに検討された。また、これらの系における融液の粘度測定データも蓄積された。その結果、焼結組成では、 CaO 、 FeO は融液粘度を低下させ、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO は逆にそれを上昇させることが明確になった。やがてその定量的な記述も可能となろう。

焼結鉱の全断面 EPMA 分析 (Electron Probe X-ray Microanalysis) により CF 内での Fe_2O_3 - CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO 固溶状態が分析される一方、多元系 CF の結晶構造解析が行われ、その構造が特定された。 MgO の導入が CF 中への SiO_2 の固溶を促進するとする結晶学的結論は興味深い。従来、スラグ相の生成を抑制して CF 相を多く含有する焼結鉱が強度・被還元性の両面から好ましいものとされている。この知見は、それを実現する組織制御法の出発点となる可能性がある。

強度を維持しつつ低スラグ化を図っていくには、従来の CF 系融液結合を補完する新たな結合組織が必要となる。 FeO_x - SiO_2 系融液の活用である。そこで、 FeO_x - SiO_2 系組織の還元性が詳細に調査されたが、やはり単独では還元性に問題が残るようである。今後は、 FeO_x 純粋な結合を志向するか、残留元鉱の形態制御による還元性改善を検討することになろう。

1.3.3 焼結鉱品質改善技術

(1) 被還元性

従来の JIS-RI 測定法の問題点が指摘された。すなわち、 CO_2 を含有しない還元ガスでは還元ポテンシャルが実際と大きく異なり RI 指数値に差がでにくい。また、実際の高炉では熱保存帯で塊成鉱の還元率はその平衡に達して一旦差がなくなるがそれ以降の高温での被還元性が重要な差を生む。従って、最近の還元性に関する研究では、高温加重軟化試験装置が用いられる場合が多くなった。

熱保存帯以降の還元後半部では、生成還元鉄内の拡散が律速しており、その組織構造が重要である。特に、0.1 mm 以上の気孔を確保して酸化鉄鉱物が生成融液で包囲されることを防止することが重要であるとされた。

実際には低スラグ化が志向された。低スラグ化の還元性改善の機構や効果については、説明を省略する。

(2) 還元粉化性

低スラグ化の問題点は還元粉化性の悪化である。

還元粉化に関してはすでに鉱物学や機械強度面から精力的な研究が実施されており、実用面でも原料の微粉部分の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ を低下させる (SiO_2 源の細粒化) 手段が確立されている。最近の低スラグ化に際して、焼結鉱製造面での新たな技術的進展はない。高炉操業状況を見ながら基準値が緩和されつつ、低スラグ化が推進されたのが実際である。

基準緩和は、高微粉炭吹き込み操業条件下では熱流比が低下して還元粉化が問題となる低温帯領域が縮小するとの考えに基づいている。また、高炉内に類似させたガス組成と昇温速度条件では、低スラグ焼結鉱の方がむしろ粉化が低減した