

討 3

高炉に適したペレットの製造新技術

(株)神戸製鋼所 中央研究所 ○杉山 健 城内 章治 小野田 守
藤田 勇雄 加古川製鉄所 上仲 俊行

1 緒 言

我国の高炉は年間平均で出銹比は最高 2.64 t/m³/d、燃料比は最低 439kg/p.t に達する非常に良好な生産効率を示している。これは、高炉の大型化、超高压化などの設備的改善と操業技術の向上、および装入原料性状の改善に負うところが大きい。この様な高能率操業は自溶性焼結鉱を多量使用している高炉で達成されており、ペレットを多量(30%以上)使用している高炉では、出銹比 2.18kg/m³/d、燃料比 448kg/p.t が最高の成績である。この原因は、大型高炉ではペレットの使用量が増加すると、棚吊り、スリップの頻発により炉況が不安定になるためと言われている。

したがって、ペレットは焼結鉱に比べて、高炉に最適な性状を有しているとは言い難く、改善の必要がある。そこで、本稿ではペレットの性状をどの様に改善すべきかについての討論に資するため、当社が実施してきたペレット改善の経緯を簡単に紹介し、主として「粗粒鉱石含有ペレット」の開発について述べる。

2 ペレット性状の改善目標

高炉操業では、(1)安定した通気の維持、(2)順調な荷下り、(3)良好な熱バランスの保持 が重要である。これらを達成するためには操業方法に依存する所が大きい、一層の高能率生産を行なうには装入原料性状の改善が不可欠である。

ペレットと焼結鉱の性状を比較(表 1.2)することによつて、ペレットの改善すべき点をまとめると、(1)外觀形状、(2)高温還元、軟化溶解性状の 2 点になる。

(1) ペレットの安息角は焼結鉱に比べて小さいため、高炉装入時に偏在し易く、荷下り時に鉱石層が乱れ易い。

(2) 石灰自溶性ペレットは焼結鉱に比べて、軟化開始および溶け落ち温度が低いため、融着帯の幅が大きくなり、通気性を阻害する。

3 ペレット性状の改善例

3.1 破砕ペレット

球形ペレットの形状を変える方法として種々考えられるが、最も実現が容易な方法として、直径 18~25mm のペレットを焼成後コン・クラッシャーで破砕する方法で試験的に製造している。基礎試験によれば破砕ペレットの安息角は焼結鉱に近くなり充填層として安定することがわかった。さらに、高温(1250°C)の被還元性は多孔質破面が現われるために向上する(図 1)。高炉解体によればコークス層への侵入が少ないことも観察されている。

3.2 ドロマイト添加自溶性ペレット

ペレットの軟化溶け落ち挙動は、ペレット中に生成する溶融スラグの生成開始温度、量に大きく依存すると考えられるので、スラグの融点を上昇させることが必要である。状態図を検討し、MgO 成分の添加が有効であると推定して、ドロマイト添加自溶性ペレットが開発された。

表 1 焼成塊の物理化学的性質

| Item | Fluxed pellet (Kakogawa) | Acid pellet (Commercial) | Fluxed sinter (Kakogawa) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Crushing strength (kg/pl) | 300~350 | 250 min | — |
| Tumbler index (-1mm,%) | 1~3 | 4 max | — |
| Porosity (%) | 24~28 | 20~27 | 20~25 |
| JIS red. degree (%) | 85~90 | 60 min | 65~70 |
| Swelling index (%) | 8~12 | 14 max | — |
| Red. degree after RUL (%) | 90~95 | 60~75 | 85~90 |
| Shrinkage of RUL (%) | 30~40 | 40 | 30~35 |
| Softening temp. (°C) | 1100 | — | 1210 |
| Melt down temp. (°C) | 1425 | — | 1478 |
| Chemical composition (%) | | | |
| T.Fe | 61.0 | 64 min | 55~57 |
| FeO | 1.0 max | 1.0 max | 7~10 |
| SiO ₂ | 4.0 | 5 max | 5.4~6.0 |
| CaO | 4.8 | — | 7.5~12 |
| Al ₂ O ₃ | 2.0 | 1.5 max | 1.8~2.0 |
| CaO/SiO ₂ | 1.2 | — | 1.4~2.0 |

* RUL: Reduction under load

表 2 ペレットと焼結鉱の形状特性

| Item | | Pellets | Sinter |
|--------------|-------------------|---------|-----------|
| Raw material | Size (-1mm,%) | — | 60~70 |
| | Size (-44μ,%) | 70 | — |
| Product | Aspect | Sphere | Coke-like |
| | Diameter (mm) | 9~16 | 20 |
| | Pore | Micro | Macro |
| | Reposed angle (°) | 24~27 | 30~34 |

荷重還元試験の収縮率が非常に小さくなり、高炉使用の結果、燃料比の低下に寄与したことが報告されている。³⁾

3.3 マグネサイト添加ペレット

基礎研究の結果、 MgO/SiO_2 が 0.7 以上となるようにマグネサイトを添加した酸性ペレットは、高温の被還元性が非常に良く、軟化収縮率の小さいことがわかった。この原因は高融点のオリビン系スラグ ($2(Fe, Mg) \cdot O \cdot SiO_2$) が生成することによる。CaO による高温還元性状の改善に比べて、脈石成分を増大させることなく改善できるため、低品位鉱石を使用して、良好な性状のペレットが製造可能な点で注目される。

3.3 多孔質ペレット

被還元性を良好にしてペレット中心部まで還元が進行するように、ペレット原料中へ可燃物質を混合し、製造過程で燃焼させて多孔質化することが試みられた。このペレットの気孔率は 35% と非常に高く、JIS 還元および荷重還元 (1100°C) 試験の還元率は、いずれも約 90% と非常に高い。尼崎 1 号高炉 (721 m^3) で使用した結果、通気性が向上して良好な高炉成績が認められた。⁴⁾ しかし、可燃性物質の大量購入に問題があり、長期生産は困難であろう。

4 粗粒鉱石含有ペレットの開発

4.1 開発目的

ドロマイト添加ペレット、多孔質ペレット共に、ある程度の成果が得られているが、図 1 のごとく、高温 (1250°C) の被還元性はそれほど改善されておらず、ウスタイト段階で高温域へ入った場合、還元停滞する恐れがある。この原因は図 2 のごとく気孔径が小さく、中心部にウスタイトが存在するために、高温で高 FeO の熔融スラグが生成して、これが気孔を閉塞することによるものと考えられる。

高温の被還元性を向上する目的で原料鉱石粒度の面から改善の可能性を検討した。即ち、ペレット製造時に障害とならない限度において、粗い鉱石を多量に存在させれば、粗粒鉱石が焼成時、高温還元時にペレット体積の収縮を妨げ、気孔径が大きな状態を維持する。したがって、高温域においてもペレット中心部まで金属鉄が生成する疑均一反応になるものと考えられる。また、粗粒鉱石の使用は粉砕量が減り、製造費の低減が可能であるため、これも目的としている。⁵⁾

4.2 基礎試験の結果

従来のペレット製造法では、 -44μ が 60~90wt% 必要とされているので造粒性を調べた。原料中の添加粗粒鉱石量と生ペレット中の粗粒鉱石量との差が造粒性を示す主要な因子と考えた。粗粒鉱石粒径 0.1~0.5, 0.5~1.0mm では、図 3 のごとく約 40wt% まで粗粒鉱石量の減少が小さいため、造粒が可能であり、1.0~2.0 mm では 20wt% 配合時で既にその減少が大きいため、多量の使用は困難であると判断した。

生ペレットの強度は粗粒鉱石量の増加と共に低下する傾向を示した。

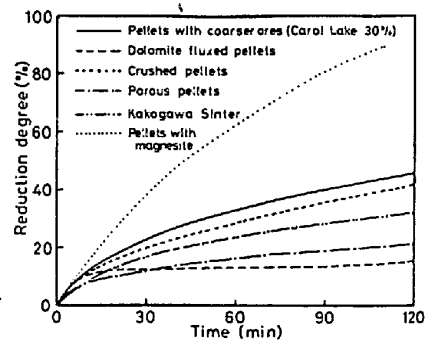


図 1 各種塊成鉱の 1250°C における還元率変化

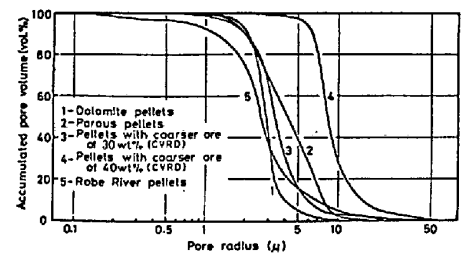


図 2 各種塊成鉱の気孔径分布

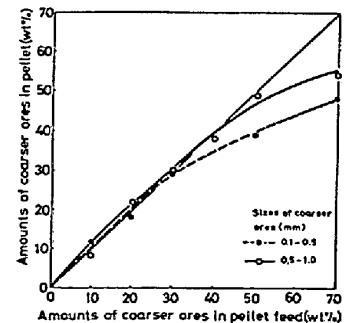


図 3 ペレット原料と生ペレット中の粗粒鉱石量の関係

焼成による体積収縮率は、粗粒鉱石量の増加によつて、図4のごとく低下しており、同時に開気孔率/全気孔率の比は増加している。

次に還元性状について述べる。

粗粒鉱石が多く存在すると、ふくれは増大傾向にあるが、15%以下に留まっている。900°Cの被還元性は開気孔率が増加するため向上する。

高温(1250°C)の被還元性は粗粒鉱石含有量が増加するほど向上し、当初の目的が達成された。

荷重還元試験の結果、粗粒鉱石(0.5~1.0mm)の含有量が30~40wt%で収縮率が最小になり、他の焼成鉱と比較すると図5のごとく、焼結鉱に類似した収縮率変化を示す。収縮率変化に対する粗粒鉱石銘柄による影響は、図6のごとく高品位のスペキュラー・ヘマタイトが最も小さな収縮率を示し、鉄品位が低い粗粒鉱石ほど大きな収縮率を示す。

粗粒鉱石の存在により、収縮率が低下する原因は、1100°C以上の高温において金属鉄の焼結が妨げられて、気孔が閉塞されず、ペレットの中心部まで還元が進み、粗粒鉱石から生成した金属鉄が荷重の抗力となるためである。

4.3 ベンチスケール試験の結果

直径1mのパンペレタイザーを使用して、造粒性を調べたところ、粗粒鉱石(0.1~1.0mm)配合量が40wt%まで通常の造粒が可能であり、落下抵抗も21回以上を示した。粗粒鉱石の配合により高温の被還元性が向上したが、粗粒鉱石を微粉碎して使用すると還元停滞を起すことも確認した。

上記の試験により、基礎試験通り良好な高温還元性状を有するペレットの工場生産の可能なことが明らかになったが、0.1~1.0mmの最適な粗粒鉱石を大量に製造することは当面困難である。そこで、図7の粒度分布を有する焼結鉱用のキャロル・レイク鉱、MBR鉱を使つて製造試験を行なつた。

高温の被還元性は、図8のごとく0.1~1.0mmの粗粒含有量の増加によつて向上し、この粒度を30wt%以上存在させれば良いことがわかつた。荷重還元試験の結果は図9のごとく、収縮率の改善は認められないが、

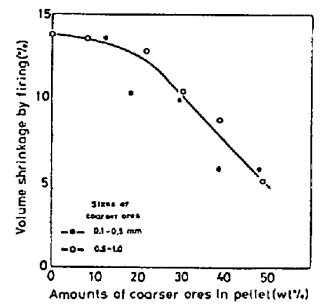


図4 焼成によるペレットの体積減少量に及ぼす粗粒鉱石量の影響

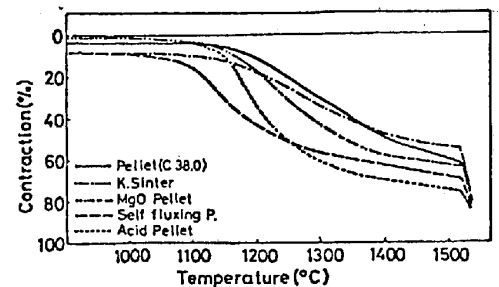


図5 各種焼成鉱の収縮率変化の比較

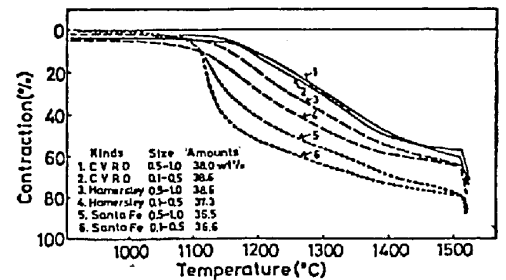


図6 収縮率変化に及ぼす粗粒鉱石銘柄の影響

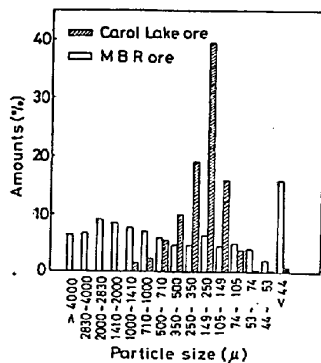


図7 焼結鉱用キャロルレイク鉱とMBR鉱の粒度分布

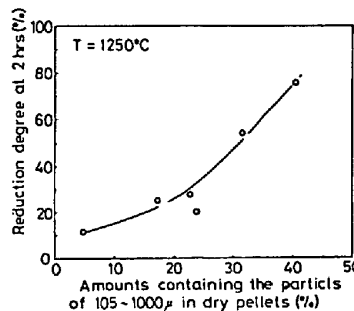


図8 高温の被還元性と粗粒鉱石量の関係

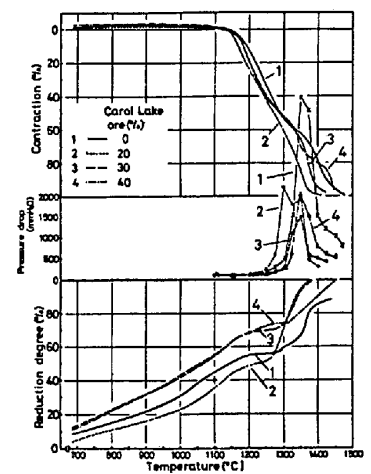


図9 キャロルレイク鉱を含有したペレットの荷重還元試験結果

圧損の低下、被還元性の向上に効果のあることがわかった。

この結果に基づいてキャロルレイク鉱を30wt%配合した粗粒鉱石含有ペレットを工場で4800t生産した。順調に造粒され、落下抵抗も25.3回と十分な強度を有していたが、マグネタイト系鉱石が多量に配合されたためか、焼成ペレットの気孔率が20%と低下しすぎた。

このペレットを尾崎炭1高炉で多孔質ペレットと振り換えて24%使用した。ところが、短期間であり重油を切っていることなど各種要因によつて、粗粒鉱石含有ペレットの効果は明確にならなかったが、大きな支障なく多孔質ペレット使用時と同等の高炉成績が得られた。

5 今後の課題

鉄鉱石を多量に輸入している日本は、鉄鉱石資源を有効に活用する技術を確認してゆくことが、国際的な義務であろう。この様な観点から塊成鉱の新技术を考えると、第1に低品位鉱と高品位鉱を組み合わせる技術、第2に採掘、選鉱時に決まる粒度分布を有効に利用できる塊成鉱製造システムの確立が重要である。現在の技術から考えると、焼結鉱における微粉多量使用技術⁷⁾およびペレット原料として粗粒鉱石使用技術を確認してゆくことが今後の塊成鉱製造技術の中心となろう。

一方、鉱山によつてはペレット化の必要な鉱石もあり、我国としては輸入ペレットを使用してゆくことも必要である。

当然ながら、ペレットの性状改善は重要であるが、一方ではペレットの特性に適した高炉操業法を確認してゆくという、製造と使用のペレットに対する両面からの追求が必要である。

6 結 言

粗粒鉱石含有ペレットの開発には、適正粒度の粗粒鉱石を大量に安定して確保する方法の確立、粗粒鉱石の粒度分布が変化した時の性状変化など一層研究してゆくべき問題が残されている。

このペレットは高品位粗粒鉱石を使うことにより、脈石成分量の減少、石灰石、ドロマイト添加量の低減できる可能性を有し、粉砕費の低減と共に、ペレット製造費を低下させ得る利点がある。

また、ペレットの高温還元性状を改善する手段として、塩基度、MgO成分の増加など成分調整による方法のみでは、脈石成分量が増加することになり、石灰石、ドロマイトなどの添加量に制限がある。したがって、成分調整と粗粒鉱石配合による方法を組み合わせることが有効である。さらに、形状を変えることも必要であるため、粗粒鉱石含有ペレットを破碎する方法が当面実現が可能な方法として期待でき、今後はこの方向へ進むものとする。

参考文献

- 1) 小野田、竹中、藤田：水曜会誌 18(1977) 453
- 2) 小野田、杉山、城内、土屋、藤田：学振5 4委 1516
- 3) O.Saeki, K.Taguchi, I.Nishida, I.Fujita, M.Onoda and O.Tuchiya, Agglomeration 2(1977)803
- 4) I.Nishida, T.Uenaka, I.Mizuguchi, BLAST FURNACE CONFERENCE (FRANCE) 1 (1980) IV-1
- 5) T.Sugiyama, M.Onoda, I.Fujita: Iron Making Proceedings of AIME 37 (1978)300
- 6) 城内、杉山、小野田、藤田、金本、水口：鉄と鋼、65(1979) S 98
- 7) 古井、川頭、菅原、藤原、香川、沢村、宇野：製鉄研究；288 (1978) 9