

討 2 高炉の要求する焼結鉱の品質とその製造方法

住友金属工業(株) 鹿島製鉄所 ○増田和生 高田耕三 高橋万明
 中央技術研究所 佐藤 駿 岩永祐治
 本 社 畠山恵存

1. 緒 言

高炉装入物としての焼結鉱に求められる性状は、従来、常温強度と耐還元粉化指数があった。最近、これらに加えて被還元性並びに高温荷重軟化性状が重要視されてきている。

そこで、これら焼結鉱の高温性状の高炉操業に及ぼす影響と焼結鉱被還元性の原料、焼成面からの改善技術について述べる。

2. 焼結鉱に要求される品質特性

焼結鉱の被還元性が良好になるほど高炉でのガス利用率が上昇する^{1)~3)}。特にオールコークス操業下では、熱流比の上昇、H₂投入量の低下および炉内滞留時間の減少等により、ガス還元的面からは不利な条件が多く、被還元性の向上が重要である。また、還元粉化性(RDI)は高炉シャフト部の通気阻害をもたらすものとして主要な日常管理項目の一つであるが、炉内での還元粉化による粒径の低下は、比表面積を増大させ、燃料比を低下させる一面を持つ⁴⁾。

最近では高温性状が重視され、高炉操業との関連性が明らかになりつつある^{2),5)}。一例を図1.に示す。高温部通気抵抗指数(通気抵抗-温度線図における1000℃から滴下終了に至る間の面積)の高い焼結鉱ほど、高炉の通気性を悪化させる。さらに風圧変動指数の増大をもたらす、荷下りの不安定化により浴鉄中Siの変動増大をまねく。

図2.は、還元粉化現象の影響を調査するため、昇温荷重軟化試験を1000℃で中断して凍結した充填層の平均粒径、空隙率と高温域での通気抵抗との関係を示したものである⁶⁾。

還元粉化により粒径が小さくなるほど空隙率の低下が著しく、高温部通気抵抗指数は増加傾向を呈する。

一方、図3.に示すように、高温還元性上昇による残留FeOの低減あるいは軟化粘度および融液生成温度の高いスラグの形成により耐軟化性は向上する⁴⁾。

このように軟化以降の高温部における通気抵抗は、還元粉化性の関与する軟化直前の充填状態と、その空隙を埋める被還元性の関与するFeO-脈石系スラグ量との相対的な関係に依存する度合いが強い。

したがって、高炉においては、還元粉化性を少なくとも現状レベルに維持しつつ、同時に、被還元性を向上した焼結鉱が要求されている。

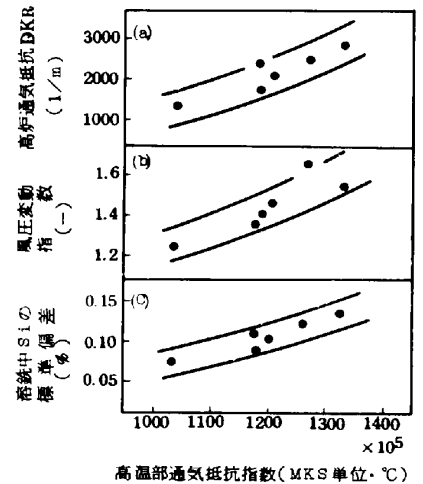


図1 焼結鉱高温性状の高炉操業におよぼす影響

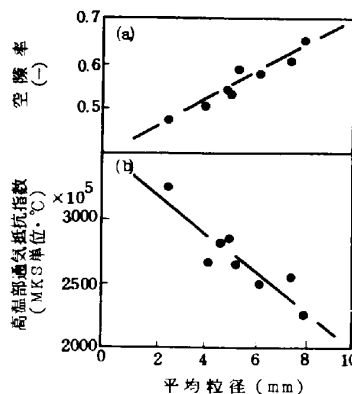


図2 高温部通気抵抗指数と1000℃で試験を中断した時の充填状態との関係

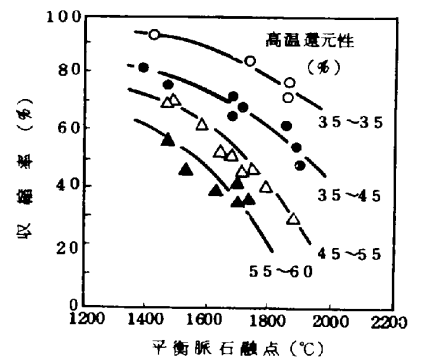


図3 軟化性状におよぼす平衡脈石融点および還元性の影響

3. 高被還元性・良還元粉化性焼結鉍の製造方法

3.1 製造方法の考え方

高炉での要求にかなった焼結鉍を製造するにあたり、図4. に示すような思考フローをもとに、焼結鉍の被還元性と還元粉化性を改善させるための製造方法について述べる。

3.1.1 被還元性の改善方法

還元性の優れた鉍物組織の形成と、気孔率の改善により、被還元性は向上する。

被還元性の優れた鉍物組織の形成に対して、鹿島焼結工場では、低生産率下で高層厚操業による低FeO化(図中①)、低SiO₂化(②)を図ってきた。

気孔率の改善に対しては、充填層の初期空隙量を増加させ、かつ分散化させるとともに(③)、焼成方法(④)と、原料配合方法(②)からスラグ溶融量の低減が有効である。

3.1.2 還元粉化性の改善方法

被還元性の優れた鉍物組織の形成は、基本的に還元粉化を助長する。還元粉化現象は、2次ヘマタイトがマグネタイトへ還元変態するときの応力集中に起因すると言われており、2次ヘマタイト生成の抑制のために、焼成時の焼成風速を適正化することで(④)、還元粉化性を少なくとも維持することが可能であろう。

3.2 製造試験

上記の検討をふまえ、鹿島2焼結機において、還元粉化性を維持しつつ被還元性の向上を図るため、原料の細粒化と、焼成風速変更による高温帯保持時間適正化の2種類の試験操業を実施した。

3.2.1 原料細粒化試験

ニューマン鉍石の粉鉍と篩下鉍の配合比により原料粒度を変化させ、その他の条件(生産率、化学成分など)を一定として、原料粒度の焼結鉍性状に及ぼす影響を調査した。結果を図5に示す。図中には、同試験期間の実操業条件を入力した焼結鉍品質予測モデル⁸⁾による計算結果を並記した。なお、図6に焼結鉍品質予測モデルの概要を示す。

原料の細粒化、すなわち、配合原料の粒度1mm以下比率1.4%の増加により、常温強度(TI)と還元粉化性(RDI)をさほど変化させることなく、被還元性(RI)は1.7%上昇した。

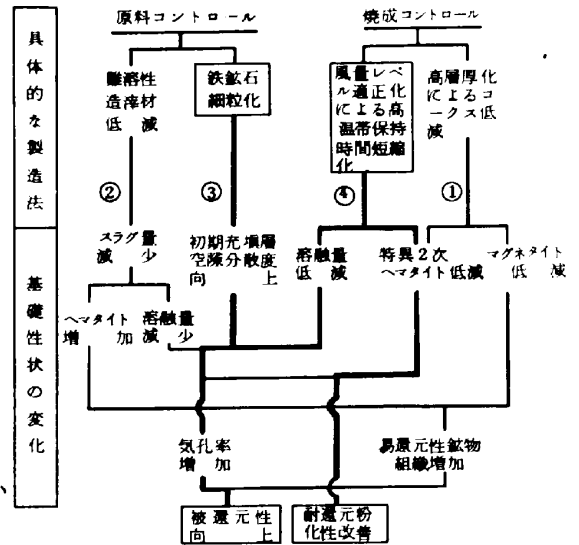


図4 熱間性状良好な焼結鉍の製造要因フロー

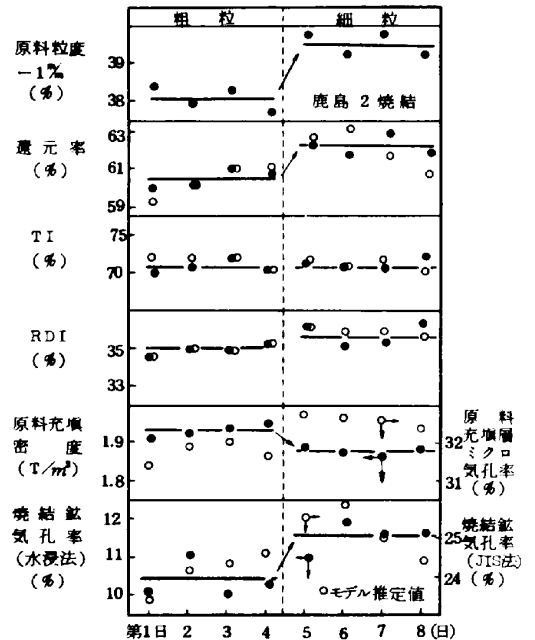


図5 原料細粒化試験時の各諸元の推移

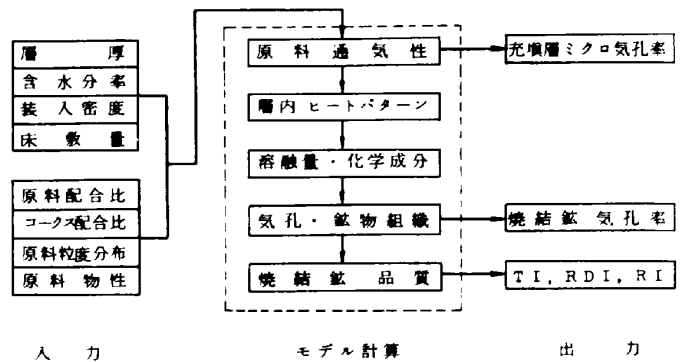


図6 焼結鉍品質予測モデルの概要

モデルを用いた要因解析によれば、被還元性の上昇原因は、原料充填マイクロ気孔率の上昇（原料細粒化による適正含水分率の上昇と、個々の空隙サイズ低下に起因する）と、原料充填密度の低下により、焼結磁気孔率が上昇することに起因することが明らかになった。

3.2.2 焼成風速変更試験

焼結層内における1100℃以上の高温帯保持時間を短縮するために、焼結風速を変化させ、焼結磁品質に及ぼす影響を試験鍋と実焼結機で調査した。

1) 試験鍋による検討

実焼結機の配合原料に粉コークスを3.5%添加し、径300mmの試験鍋にて、原料層厚と鍋下負圧を変化させて焼成した。結果を図7, 8に示す。

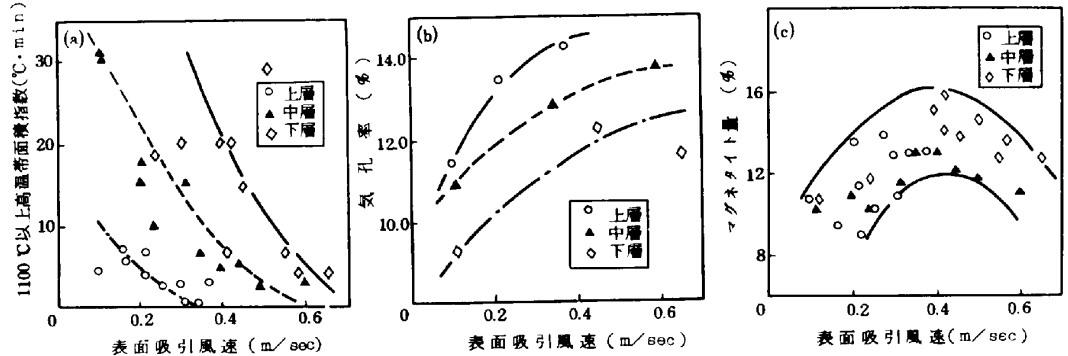


図7 焼成風速の高温帯保持時間，気孔率，磁物組成に及ぼす影響（鍋試験結果Ⅰ）

焼成風速の増加にともない、高温帯保持時間の減少、気孔

率の増加が認められる。一方、磁物組織面の変化は、ある焼成風速以下で、マグネタイト量の増加が示され、2次ヘマタイト量の減少が推定される。

したがって、焼成風速の増加では、スラグ溶融量減少による常温強度(SI)の低下が認められるものの、2次ヘマタイト量減少による還元粉化性(RDI)の改善と、マグネタイト量増加よりも気孔率増加の寄与が大きいことによる被還元性(RI)の改善が示めされることが明らかになった。

そこで、図8を用いる実機試験を想定した焼成風速における焼結磁品質は以下のように予測される。

焼成風速を増すためには、層厚一定で鍋下負圧を上昇させる方法と、鍋下負圧一定で層厚を低下させる方法があるが、実焼結操業に合わせて、後者の方法とした。

現状操業点P(層厚560mm)から、鍋下負圧一定として、高生産率側操業点Q(層厚480mm)へ移行すると、焼結磁品質は、還元粉化性(RDI)改善，被還元性(RI)向上，常温強度(SI)の低下が予測される。

2) 実焼結機テスト

焼成風速(生産率)の影響を調査するため、原料，コークスの配合条件をほぼ一定とし、層厚の低下(560→480mm)により、生産率を現状の低生産率から高生産率側へ変化させるアクションを行なった。

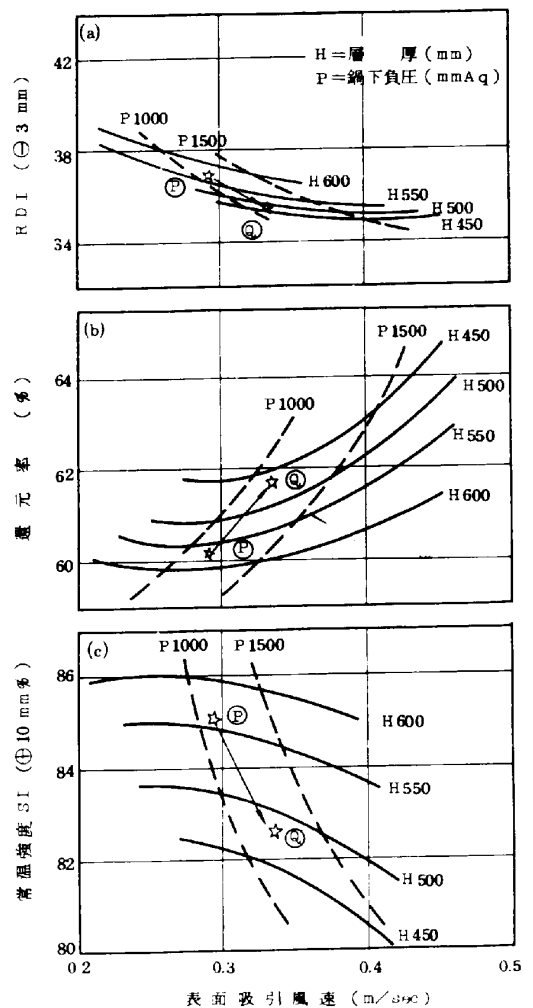


図8 焼成風速の焼結磁品質に及ぼす影響（鍋試験結果Ⅱ）

表1に、ベース期間、および、テスト期間における操業結果を示す。原料、コークスの配合条件、層厚ともに、ほぼ計画通りに推移し、焼成風速(生産率)の上昇により、RDI, RIが改善され、TIは悪化した。また、焼結鉱気孔率、FeOは上昇した。実焼結機操業結果は、鋼試験結果とよい一致を示した。

図9に、この期間における各生産率でのヒートパターン測定結果を示す。生産率が上昇することで、高温帯保持時間の短縮が達成されている。

4. 高炉使用試験

焼成風速(生産率)変更テスト期間の焼結鉱を使用した鹿島1高炉操業結果を、表1に並記する。

高生産率側で製造された焼結鉱を使用した期間は、低生産率時よりも、炉頂ガス比CO/CO₂, 通気抵抗, 風圧変動指数のいずれもが改善され、高炉の安定操業に寄与したことを認めた。

5. 結言

高炉の要求にかなった焼結鉱の製造に対し、原料の細粒化及び焼成風速の適正化により、気孔率を増加させ、還元粉化性を維持しつつ被還元性の改善を達成し、高炉操業においても良好な結果を得た。

なお、常温強度が悪化する問題は、層内ヒートパターンの均一化により、溶融量をコントロールすることで改善しうるものと考えられる。

今後、経済的な原料細粒化方法と常温強度改善方法の確立は、重要な課題であろう。

参考文献

- 1) 奥村和男, 河合隆成, 丸島弘也, 高橋洋光, 栗原淳作: 鉄と鋼, 66 (1980), P. 1956
- 2) 加瀬正司, 梅津善徳, 山口一良, 飯田孝司, 斉藤元治, 石橋和人: 鉄と鋼, 67 (1981), S 716
- 3) 梶川脩二, 山本亮二, 中島龍一, 岸本純幸, 飯野文吾, 服部道紀: 鉄と鋼, 68 (1982), S 48
- 4) 宮崎富夫, 下田輝久, 岩永祐治, 山本一博, 清水郁夫, 片岡隆昭: 鉄と鋼, 67 (1981), A 13
- 5) 斉藤 汎, 中尾亜男, 谷中秀臣, 黒沢信一, 野沢光男: 鉄と鋼, 68 (1982), S 728
- 6) 下田輝久, 岩永祐治, 桐野輝雄, 奥田宗秋, 高田耕三: 鉄と鋼, 68 (1982), S 813
- 7) 川辺正行, 稲角忠弘, 品田功一: 学振54委-1585 (物測-5616)
- 8) 佐藤 駿, 川口尊三, 吉永真弓, 一伊達 稔: 鉄と鋼, 68 (1982), S 732

表1 焼成風速(生産率)変更試験実績

項目	期 間	
	ベース期間 (5日間)	テスト期間 (6日間)
生 産 率 (T/m ² 24h)	20.3	24.3
J I S 還 元 率 (%)	62	65
気 孔 率 (%)	10.3	13.3
R D I (⊖ 3 %) (%)	40.6	36.5
T I (%)	75.5	74.6
焼結鉱粒径(φ25%) (%)	34.4	27.7
焼 結 鉱 F e O (%)	4.40	6.11
焼 結 鉱 S i O ₂ (%)	5.40	5.42
コークス配合比 (%)	2.84	2.72
層 厚 (%)	56.3	48.0
炉頂ガス比CO/CO ₂ (-)	1.06	1.02
通 気 抵 抗 (× 10 ³ / m)	11.7	11.4
風 圧 変 動 指 数 (-)	1.41	1.33
焼 結 比 (%)	70	70

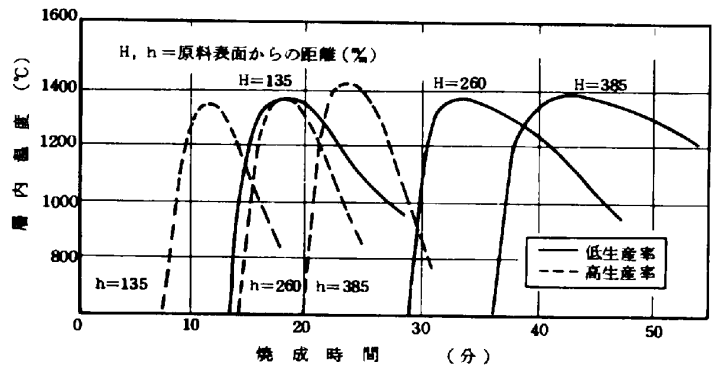


図9 焼成風速(生産率)変更にもなうヒートパターン測定結果