

はほとんど max. の状態にあり、このような状態においては粗粒石灰の効果はあまりなく、生産速度の低い時点、すなわち原料粒度の小さい時にその効果が大きくでるものと考えられる。

Fig. 2 に細粒石灰使用時 T/H と粗粒石灰使用によつて向上した分の T/H との関係を示す。Fig. 2 から細粒石灰使用時の T/H の低い時が粗粒石灰の効果が大きくでる傾向を示している。

(2) 還元率およびその他の品質については、前記(3・2・1)における試験結果とだいたい同様の傾向を示した。

4. 結 言

焼結配合原料中の石灰石粒度を粗粒にして試験鍋および本プラントで試験した結果、

(1) 試験鍋では粗粒石灰を使用することによつて生産性が向上し、品質的にも問題はなかつた。

(2) 本プラントにおいては粗粒石灰使用により生産性が向上するが、その効果は原料粒度に左右されるようである。

(3) 還元率は2~3% 低下するが、その他の品質に問題はなかつた。

以上本プラントの試験結果より、粗粒石灰を使用することによつて還元率が若干低下するが、この程度の低下は高炉においてほとんど問題がないと考えられ、むしろ焼結鉱を少しでも増産した方がよいという考えのもとに、現在全面的に石灰石の粒度を -6mm に変更して操業中である。

(40) 焼結鉱生産性管理に関する一考察

八幡製鉄所, 戸畑製造所

石川 泰・○松原光照・渡辺芳光

A Study on the Control of Sinter Productivity.

Yasushi ISHIKAWA, Mitsuteru MATSUBARA and Yoshimitsu WATANABE.

1. 緒 言

数多くの因子によつて構成されている焼結プロセスを可能な限り定量的に管理しようとする場合、従来主として用いられてきた方法は、例えば過去の実績あるいは試験結果から、ある要因と最終特性値との関係を直接に線型回帰式などで求め、これを管理の基準にしてきた。

しかし、要因と最終特性とを線型的に仮定して関連づけることは、一般に統計的以外の意味はほとんどなく、その結果あらゆる操業にこれを適用することは危険視され、また実操業においても明確なアクションとして結びつかないことは度々経験してきたことである。

上記の点を考慮して、われわれは特に焼結の生産管理の面に関して、主要因の影響を定量的に把握できるような手段として、生産モデル式などの考え得る理論式を設定し、それを構成する各因子を統計的方法あるいは理論計算式などにより推定、管理する方法が好ましいと考えた。

2. 生産構造式による焼結生産管理方式

2.1 生産構造式の決定

D L式焼結機の生産速度 P (t/hr) は一般に(1)式に示す構造式によつて与えることができる。

$$P = 60 \cdot w \cdot h \cdot d \cdot v \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \dots \dots (1)$$

w : パレット巾[m] h : 原料装入層厚[m]

v : パレット速度[m/min] η_1 : 焼成歩留り

η_2 : Sinter/Sinter cake

d : 装入原料密度 (乾量換算値) [t/m³]

ここで w は工場特有の値であり、例えば戸畑 D L 工場では $w = 2.5$ を使用して生産速度式は (1)' のようになる。

$$P = 150 \cdot h \cdot d \cdot v \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \dots \dots (1)'$$

(1)' 式を構成する各操業因子の実績値から算出した生産値は、通常ほとんど正確に実績生産量を示し、各因子の測定誤差の影響は無視し得る程度のものである。したがつて焼結操業において考えられる数多くの操業因子のうち最終的には (1)' を構成する5つの操業因子を正確に管理することにより、合理的な焼結の生産管理が可能となる。

2.2 各操業因子の生産におよぼす影響

(1)' に示す h, d, v, η_1, η_2 がそれぞれ $(h + \Delta h), (d + \Delta d), (v + \Delta v), (\eta_1 + \Delta \eta_1), (\eta_2 + \Delta \eta_2)$ に変化し、その結果 P が $(P + \Delta P)$ に変つたとすれば (1)' は (2) 式のように示すことができる。

$$P + \Delta P = 150 (h + \Delta h) (d + \Delta d) (v + \Delta v) (\eta_1 + \Delta \eta_1) (\eta_2 + \Delta \eta_2) \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式を展開するに当たり各因子の Δ^2 の項が生産変動 ΔP に与える影響を昭和 39 年度の操業実績から求めると最大値で 1.87t/hr 程度であつた。そこで (2) 式の Δ^2 以上の高次項は誤差項とみなすと、(2) 式は (3) 式のように表わすことができる。

$$\Delta P = \Delta h \cdot F_h + \Delta d \cdot F_d + \Delta v \cdot F_v + \Delta \eta_1 \cdot F_{\eta_1} + \Delta \eta_2 \cdot F_{\eta_2} \dots (3)$$

$$F_h = d \cdot v \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad F_d = h \cdot v \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad F_v = h \cdot d \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$$

$$F_{\eta_1} = h \cdot d \cdot v \cdot \eta_2 \quad F_{\eta_2} = h \cdot d \cdot v \cdot \eta_1$$

(3) 式より同期間における各 Δ の ΔP におよぼす影響量を他の因子を固定して計算すると

$\Delta h = 10\text{mm}$ の変動により ΔP は 5.58t/hr 変化する

$\Delta d = 0.01 \text{ t/m}^3$ " ΔP は 1.06 " "

$\Delta v = 0.1 \text{ m/min}$ " ΔP は 5.32 " "

$\Delta \eta_1 = 1\%$ " ΔP は 2.06 " "

$\Delta \eta_2 = 1\%$ " ΔP は 2.91 " "

さらに、通常操業での各因子の変動範囲から生産 P への影響率 R を求めると、全生産変動値 100% に対して、 $R_h = 17.3\%$, $R_d = 18.7\%$, $R_v = 42.7\%$, $R_{\eta_1} = 3.7\%$, $R_{\eta_2} = 17.6\%$ となつた。すなわち各因子の生産 P におよぼす影響は、 $v \gg d \approx \eta_2 \approx h \gg \eta_1$ の順で大きいことがわかる。

したがつてパレット速度 v を重点管理することにより効果的な焼結の生産管理ができると考えられる。

2.3 各操業因子に関する考え方

2.3.1 パレット速度 v [m/min] の推定

焼結反応速度は通常、時間当りの風量によつて決まり、これは主として原料粒度および装入層厚による焼結層の通気抵抗の大きさに支配される。一方 v は焼結反応速度にしたがうため、 v は原料粒度と装入層厚により関係づ

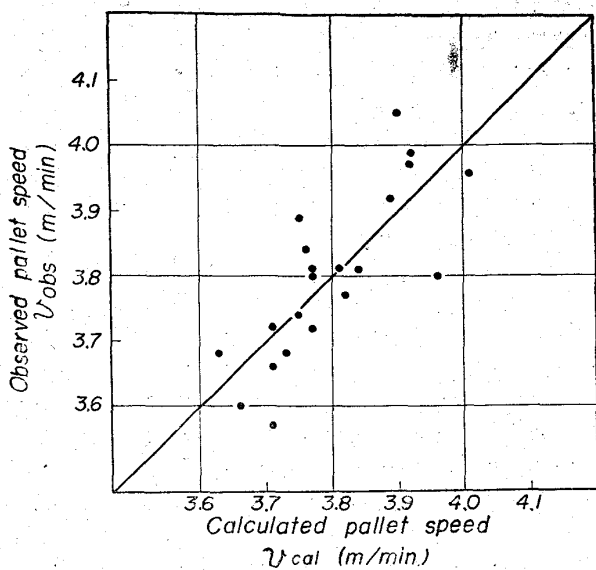


Fig. 1 Comparison of pallet speed calculated and observed.

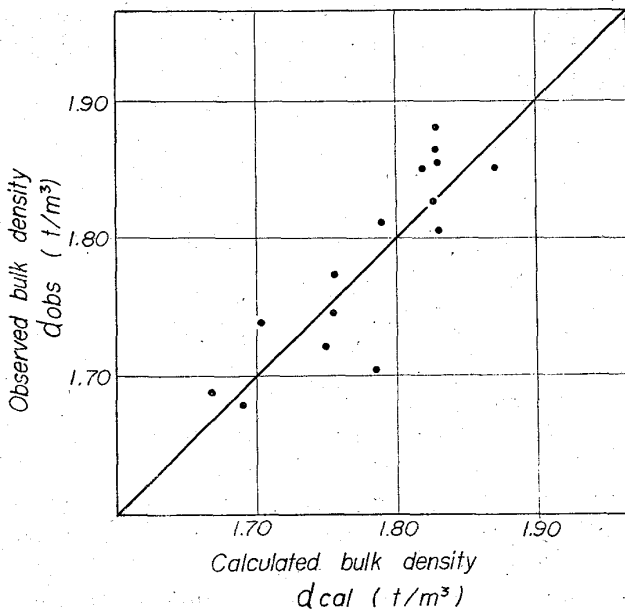


Fig. 2. Comparison of bulk density of sinter mixtures on pallet calculated and observed.

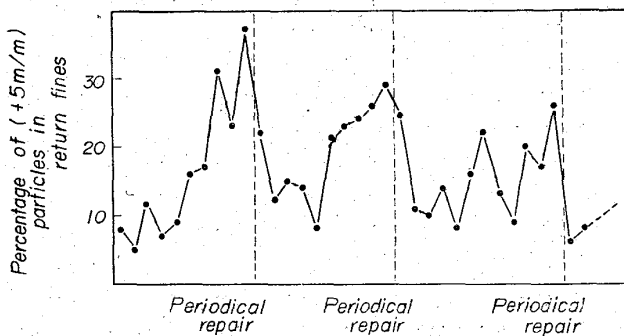


Fig. 3. Relation between percentage of +5 mm particles in return fines and periodical repair cycle.

けることができる。最も簡単な方法は回帰式を用いることであるが、この場合粒度の表示法がまだ一般化されていないので、例えば原料の -0.5mm の百分率で表示するとすれば、粒度 x 、装入層厚 h 、と v の間に(4)式のような関係を得た。

$$v^{**} = -0.025x - 0.095h + 7.22 \dots\dots\dots (4)$$

(4)で計算して求めた v_{cal} と実績値 v_{obs} との関係は Fig. 1 に示すごとくであり、 v_{cal} は良い精度でパレット速度を推定することができる。すなわち上記のごとく生産変動に大きく寄与する v を管理する上で原料の -0.5mm 指数は重要な意味を持ち、他の因子が固定された状態でこの指数が $\pm 1\%$ 変動すると生産は $\pm 1.3\text{t/hr}$ の影響を受けることがわかる。

2.3.2 装入密度 d [t/m^3] の推定

原料の装入密度は普通、配合原料の総嵩比重 d' 、配合原料水分 m 、装入層厚 h 、装入装置カットプレート前後の層厚偏差 Δh により決まり(5)式のように表わすことができる。

$$d = K_1 \cdot d' (1 - m) \frac{(h + \Delta h)}{h} \dots\dots\dots (5)$$

$$d' = d_0 / (1 - m_0)$$

d_0 : 各銘柄乾量値嵩比重の荷重平均値

m_0 : 過去における配合水分平均値 ($=0.065$)

K_1 : 補正係数

ここで実績データから最小2乗法により、

$$[d - K_1 d' (1 - m) \cdot (h + \Delta h) / h] \rightarrow \min$$

にするような K_1 の値を求めると $K_1 = 1.057$ が得られた。

(5)式から計算された d_{cal} と実績値 d_{obs} との関係は、Fig. 2 のようになり $|d_{cal} - d_{obs}|$ の標準偏差は $\sigma = 0.014$ と、かなりの精度で(5)式より d を推定できることがわかった。

2.3.3 シンター・ケーキ歩留り η_2 の推定

シンター・ケーキ歩留り η_2 は原料性状、燃料使用量、装入層厚、篩網サイズなど多くの因子によって影響されるが、これらを定量的に関連づけることは非常に困難である。

たとえば Fig. 3 に示すごとく 発生返鉱中の粗粒量は、工場の定期修理を周期とし篩摩耗度に応じて変動し、それとともに返鉱発生率と同様な傾向をとることが予想されるので、 η_2 を原料性状あるいは焼成条件のみから明確に推定することは難しい。

しかし、最近の戸畑DL工場の操業では Fig. 4 に示すように原料性状のうち特にスラグ量 ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$)% と η_2 との間に極めて高度な相関を得、(6)式の関係を確認しているので、 η_2 は(7)式によってある程度予想することはできる。

$$\eta_2' = 1.65S + 34.9 \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta_2 = K_2 \eta_2' \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 K_2 は篩摩耗状況により決まる係数で戸畑DLの実績では $K_2 = 0.98 \sim 1.05$ の値である。

また、 S はスラグ量で ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$)% で表わす。

2.3.4 装入層厚 h および焼成歩留り η_1

装入層厚は操業方針に基づいて設定するものであり所定期間中はほとんど一定値で管理する。

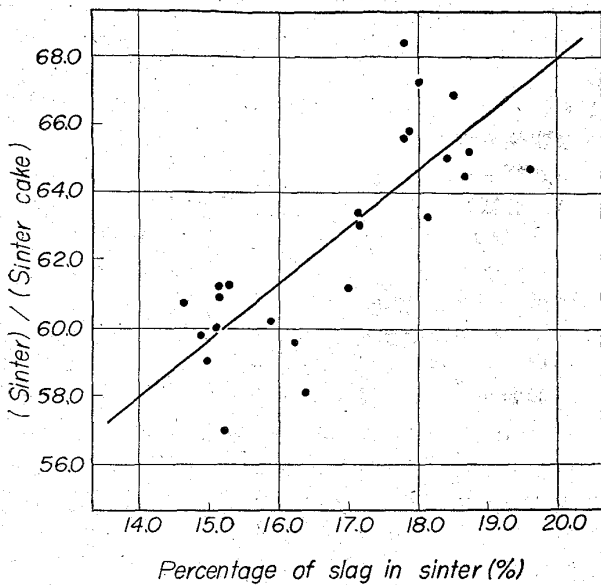


Fig. 4. Relation between slag contents in sinter and sinter cake yields.

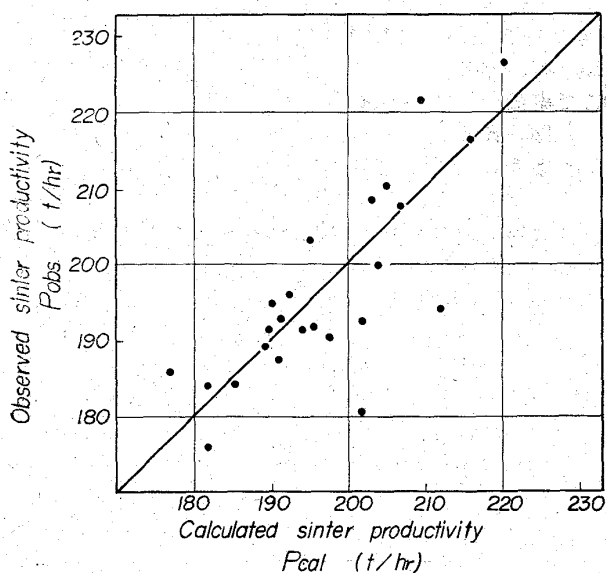


Fig. 5. Comparison of sinter productivity calculated and observed.

また焼成歩留り η_1 についても原料の配合割合が決まれば焼成による揮発分量 (S, CO_2 , 結晶水 etc), 酸化増量, ダスト・ロス量などを推定して計算できる訳であるが, 前述のごとく η_1 の生産変動への影響率はわずかであるため例えば対前月との補正程度で決めても大差ない。

2.4 生産速度 P の推定および管理

2.3.1~2.3.4 の方法で v, d, η_2, h, η_1 の予想値が決まると (1)' 式により推定生産量 P_{cal} を算出することができる。実績生産値 P_{obs} と P_{cal} との関係をもっと最近の操業 (S 40.1~S 40.3) について示すと Fig. 5 のようになり, かなりの精度で P_{cal} が P_{obs} を推定していることがわかる。

以上の結果われわれは焼結の生産管理を実施するに当

たって (1)' 式が十分運用できることを確認し, さらにある時期における生産の増減に関してもこれを要因別に分類して各因子の影響量を定量的に知ることが可能となった。

また原料ヤードを十分に活用して原料の粒度, スラグ量, 比重などを主体にした原料配合管理を適正に行なうことにより生産レベルに応じた操業管理もより合理的に実施することができる。

3. 結 言

戸畑DL工場では生産構造式を用いた生産管理を実施し, 従来に比べて, より合理的な生産管理の可能性を確認した。特に原料の粒度, スラグ量, 比重などと生産性との定量的な関係が他の操業因子との組合せにおいてかなり高精度に示され, これより適正なヤード管理に対する具体的な指針を得ることができた。

なお本報告では, パレット速度 (v), シンターケーキ歩留り (η_2) の推定に関して, 最も一般的な回帰式による方法を示した。しかしこれなどをさらに精度の良い普遍的な算出式とするには, たとえば v についても, 焼結機のプロワー能力, 焼結層の通気抵抗, 焼結反応機構などを考慮した化学工学的なアプローチが当然必要であり, 数式モデルを基礎とした統計的方法に関する検討を今後続けてゆく予定である。

(41) 粉鉱石のスティッキネス測定について

八幡製鉄所, 技術研究所

工博 石光章利・菅原欣一

On Measurement of Fine-Ores' Stickiness.

Dr. Akitoshi ISHIMITSU and Kinichi SUGAWARA.

1. 結 言

鉄鉱石の諸性質のうち, スティッキネスに関するものは重要性が認識されているにもかかわらず, 基礎的な知識は皆無といつてよい。スティッキネスが破碎, 篩分け作業に対する大きな障害であることはいうまでもなく, 高炉原料の整粒が強化されるにつれてその障害の程度はさらに大きなものとなることは自明である。スティッキネスを生ぜしめる諸原因を求め, 同時にスティッキネスを数量的に表示する方法の考案に着手して日は浅いが, 2, 3 の結果を得たので報告する。

2. 測定方法の検討

粉鉱石のスティッキネスが実際作業に問題とされるのは, 粉鉱石自身の凝集塊化性と, 篩, ホッパー, シュート, コンベアー・ベルトなどに付着する対象物スティッキネスの2面からである。この2つの性質は, おそらく相互に強い関係を持つものと思われるが, ここで取り上げたのは後者の方つまり, 篩ホッパー, シュートなどに対するスティッキネスについてである。したがって基本的な考え方としては, ある固体物質へ粘着した湿潤な粉鉱石を剝離するに要する力を測定して, これをスティッキネスとして表示することを試みた。また被粘着固体物質は, 篩, ポッパーなどの材質から鉄板が適当と考えた