

(2) 式の  $K$  と  $I_0$  を各測定レベル (グレート面から 50, 100, 150, 200, 250mm) について求めるため、線源と検出器を各測定レベルに配置し、鍋に嵩比重の異なる焼結原料をビーム中心の上下 100mm に装入し、各々に関し計数率と嵩比重を測定した。その結果を Fig. 2 に示す。このグラフの直線が二つのグループに分かれているのは検出器のプロープを途中で取替えたためである。各グループの直線の不一致は (1) 式の  $I_0$  の変化と鍋にテーパーがついているため (1) 式の  $x$  の変化によるもので、グレート面から 50mm と 100mm の相異は、前述の理由のほか、前者の測定のさいにはプロープの前面に熱遮蔽装置を配置していたためである。しかし、同一測定レベルに関しては  $I_0$  も  $x$  も変化しないと見做せるから、計数率から嵩比重を求めるために Fig. 2 の直線を使用しても誤差は小さい。

実際に焼結過程中の嵩比重変化を追跡する実験においては、装入終了から測定を開始し、嵩比重変化の急激な間は 60 秒間、点火前と燃焼後の比較的嵩比重変化の緩慢な間は 120 秒間計数し、読み取りセットのため 5 秒間または 10 秒間計数を中止する方法で焼結完了まで連続測定した。

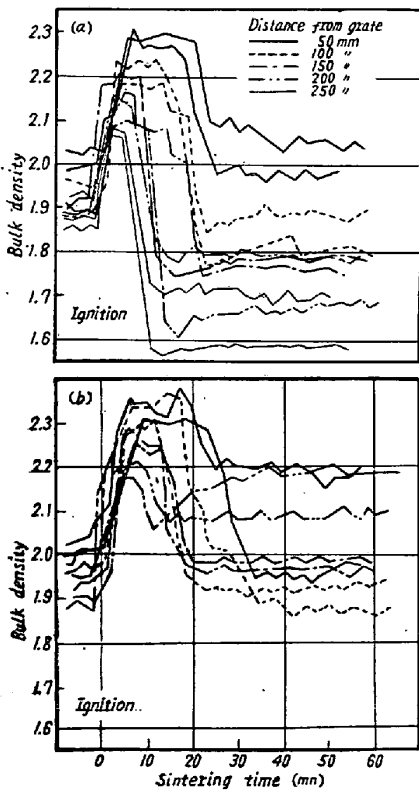


Fig. 3. (a): Change of bulk density in normal sintering process.  
(b): Change of bulk density in sintering process under load 200 g/cm<sup>2</sup>.

IV. 実験結果および考察

実験結果の一例を Fig. 3 (a) (b) に示す。このグラフは原料から焼結完了までの嵩比重変化を示している。すなわち、原料の嵩比重は 1.9~2.0 で、吸引し、点火すると 2.3 前後になり、燃焼するとふたたび嵩比重は小さくなる。このように  $\gamma$  線透過法を利用すると、約 40 分間にわたる焼結過程における急激な嵩比重変化を確実に追跡することができる。次に嵩比重測定の精度について考察すると、(1) 式から  $\rho$  を求める場合、

$$\rho = f(I_0, I, \mu_m, x) \dots \dots \dots (3)$$

とおくと、 $\rho$  の増分  $\Delta\rho$  の自乗は、

$$(\Delta\rho)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial I_0} \cdot \Delta I_0\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mu_m} \cdot \Delta \mu_m\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

各測定レベルに関しては  $\Delta I_0$  と  $\Delta x$  を零と見做してよいから右辺第 2, 4 項を無視し、(1) 式を偏微分した値を (4) 式に代入し、

$$(\Delta\rho)^2 = \left(\frac{1}{\mu_m \cdot x} \cdot \frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\rho \cdot \frac{\Delta \mu_m}{\mu_m}\right)^2 \dots \dots \dots (5)$$

原子核の崩壊に必然的に付随する誤差と回路素子の特性変化による誤差を総合し、計数値の少い所で  $\Delta I/I$  を  $\pm 7\%$ 、水分の変動を  $\pm 5\%$ 、 $\rho$  を 2.0 と仮定して計算すると  $\Delta\rho/\rho$  は  $\pm 1.5\%$  となる。この値は仮定において十分大きな値を採用しているから、この実験の測定精度は相当に良いものと考えられる。

V. 結 言

$\gamma$  線透過法によつて焼結過程における嵩比重の急激な変化を非接触、かつ、非破壊的に連続測定することができた。

(27) 荷重付加焼結法に関する研究

(焼結歩留および強度向上に関する研究—II)

八幡製鉄所技術研究所

石光章利・若山昌三・戸村聡吉・○沢村靖昌  
Applying Load in Sintering Operation.  
(Study on the method for increasing yield and strength of sinter—II)

Akitoshi ISHIMITSU, Shōzō WAKAYAMA,  
Sōkichi TOMURA and Yasumasa SAWAMURA

I. 結 言

下方吸気式の焼結法においては、シンターケーキ全体

を強度的に均一に焼結することには種々の問題点があり、上層部ではむしろ、下層部では強くなるのが一般的である。この主な原因は、焼結時の排熱利用度、原料密度および焼結帯に加わる荷重等の差によるものと考えられ、焼結歩留を劣下させる原因となる。これを解決する手段として、われわれは点火後の焼結層に荷重を付加して、シンターケーキ上層部の気孔を減じ、したがって焼結鉄の強度を向上させることを見出し試験焼結機で確認して報告した。

この研究はこの方法（荷重焼結法と呼ぶ）を現場プラントへ適用するについての基礎資料とするため、大型試験焼結機での確認をするとともに、 $\gamma$ 線を用いて焼結過程における嵩比重の変化を測定し、荷重焼結法による焼結鉄強度増加の挙動を明らかにしたものである。焼結層の嵩比重を $\gamma$ 線によつて連続測定することはこれまでなされておらず今回の実験によつてきわめて有効な手段であることが確認された。

II. 実験手順

実験は内法が 600mm の比較的大型の焼結機で装入高さは 350mm でおこなつた。1 回の装入量は装入原料の種類によつて異なるが今回の実験では平均 230kg であつた。

使用した原料の配合割合および成分は Table 1, 2 に示す通りで原料粒度は実験誤差を少なくする意見で全量を 7mm 以下に破碎した。要因の変化は本実験の目的から点火後の焼結面に加える荷重のみとし、無荷重、100 g/cm<sup>2</sup> および 200 g/cm<sup>2</sup> の 3 水準について $\gamma$ 線測定位置 5 段階にわたり 2 回繰返して実験を行なつた。荷重を加える方法は、点火直後の焼結層表面に通気を阻害しないような開孔板を置き、上から重量物で焼結帯がグレート面に達するまで連続的に、おさえるものである。

III. 実験結果

(1) 大型試験焼結機での荷重焼結の効果確認

Table 1. Raw materials. (%)

Pyrite cinder	Larap ore	Imported ore time	Sand iron	Lime-stone	Returns	Coke breeze
14.4	10.2	22.7	8.1	7.6	33.4	3.6

Table 2. Chemical analysis of raw materials. (%)

T. Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
52.16	11.04	6.56	4.45	0.46	0.56

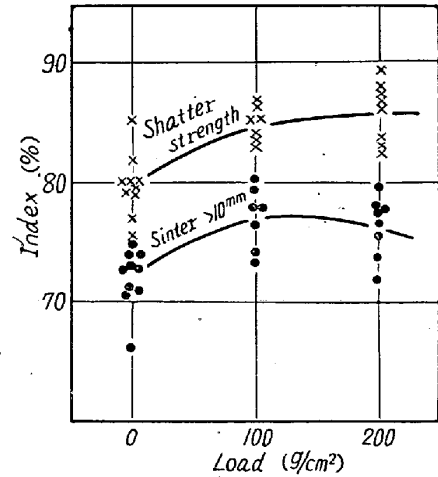


Fig. 1. Effect of load on yield and strength of sinter.

焼結実験によつて得られた特性値のうち Fig. 1 として焼結鉄歩留と落下強度のみを示した。実験範囲内において落下強度に対する荷重付加の効果近似式で求めてみると、

$$y = -0.00002x^2 + 0.007x + 79.6$$

ただし y: 落下強度, x: 荷重 (g/cm<sup>2</sup>) となる。

このように荷重 100 g/cm<sup>2</sup> までは急激に上昇し、無荷重の時より強度は平均値で 5% 向上して 86.4% となつた。また成品歩留も平均値で 5% 向上した。強度および歩留の向上は勿論荷重によつて気孔の生成が抑制され、より緻密な焼結鉄が得られるためである。とくに歩留の向上は $\gamma$ 線で測定したシンターケーキの嵩比重からも明らかのように、上層部の嵩比重がいちじるしく向上し、軟弱でもつとも粉化し易いこの層を改善したことによるものと考えられる。なお荷重をさらに 200 g/cm<sup>2</sup> に増加させると、強度、歩留の上昇率は鈍くなり、わずかに 1% 前後の上昇をみるのみで荷重の効果は薄らぐ。荷重焼結法は原料層を加圧するものでないから、いちじるしく通気を阻害することはないが、焼結鉄嵩比重の増加が通気抵抗を増すように働くことと、焼結帯直下の原料層にはある程度荷重の影響で嵩比重が向上することで、(Fig. 2 参照) 幾分焼結時間の延長をみる。しかし Fig. 2 に示すように付加する荷重の適正量を把握しておけば、焼結鉄歩留の増加によつて焼結時間の延長を補つて生産率としてはほとんど相違のないものとなることが推定出来た。

また荷重の適正量を誤ると、生産率はいちじるしく低下する傾向にあるので荷重の決定には細心の注意が必要であろう。

(2) 焼結過程における嵩比重の変化

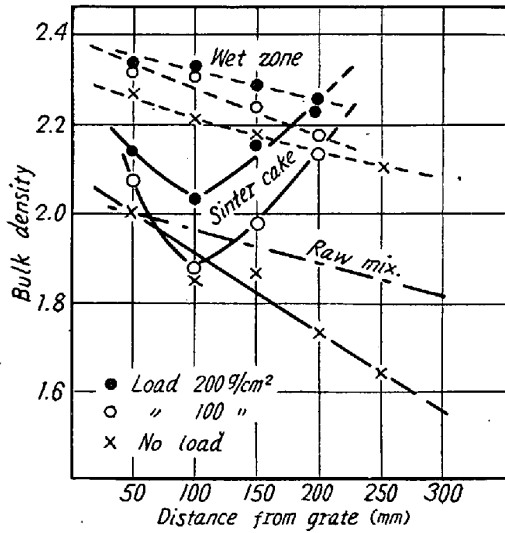


Fig. 2. Change of bulk density in sintering process under load.

焼結過程における嵩比重の変化を測定した結果は、Fig. 2 に示した通りである。原料の装入より逐次検討して行くと、原料を焼結鍋に装入した時既にその深さによって嵩比重が変化し、おりに通気開始および点火によって原料層は圧縮を受け嵩比重は上昇し、また上下差の傾向はさらに顕著となつてゐる。この原料層における荷重の影響は Fig. 2 から判断すれば、わずかながらその影響を受けているようである。次に焼結過程が終了して、シンターケーキとなつた時の嵩比重の上下差および荷重の効果を見ると、もつとも大きな特徴として認められることは、無荷重の場合に上層部と下層部のシンターケーキ嵩比重の差がきわめて大きく、この原因と考えられることは前述のごとく、焼結前の原料密度がすでに異つてゐること、次に焼結帯に加わる圧力によつて行なわれると考えられる。シンターケーキの気孔生成の抑制が下層部に行くほど大きく作用するためと思われる。

以上のように、シンターケーキの嵩比重の上下差が大きいことは通常の焼結法における歩留および強度を劣化させる因となつてゐるものである。

次に荷重焼結を行なつた時の嵩比重変化について考察すると、荷重を付加することによつてシンターケーキ全体の嵩比重はいちじるしく向上し、特に上層部の荷重の効果は顕著となつた。嵩比重を平均値、上下の範囲および標準偏差について無荷重の場合と比較すると Table 3 のようになり、平均値は 1.817 から 100 g/cm<sup>2</sup> で 2.016 と上昇し、上下層の範囲は 0.31 と狭くなり、荷重焼結の効果を確認した。

(3) 投影顕微鏡による観察

試料の採取は嵩比重の測定箇所と同様にグレート面か

Table 3. Bulk density of sinter cake.

	Average	Range	Standard deviation
No load	1.817	0.47	0.135
Load 100 g/cm <sup>2</sup>	2.016	0.31	0.077
Load 200 g/cm <sup>2</sup>	2.150	0.28	0.086

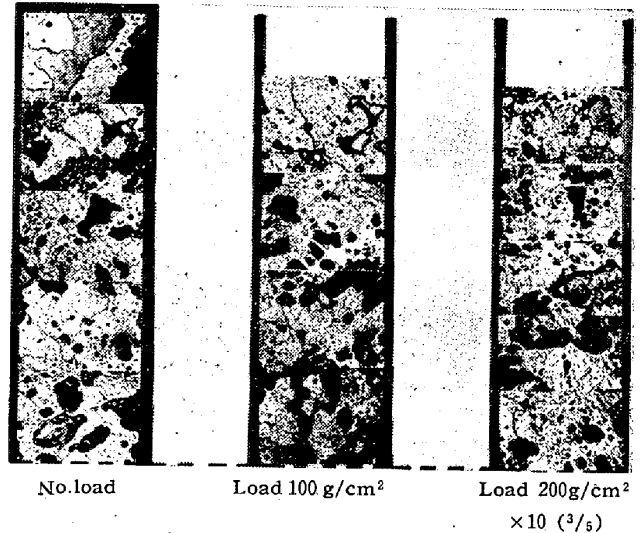


Fig. 3. Magnified figure of sinter cake in cross section.

ら 50% 間隔に採取した。観察は上層部より下層部までの気孔の連繋、亀裂の状態を調べるため倍率 10 倍の投影顕微鏡を使用した。その結果は Fig. 3 に示すようになる。

黒色は気孔で、無荷重の場合をみるとグレート面から上層部に行くにしたがい気孔が占める割合は大きくなる。

このことはγ線による嵩比重測定結果からも十分裏づけられる。次に荷重を付加した場合を比較すると、マクロ組織の上下差はほとんどなくなり、逆に一部では上層部が緻密にさえなつてゐる傾向にある。

IV. 結 言

焼結過程における初期の段階、すなわち点火直後の焼結層に荷重を付加する焼結法について研究し、焼結強度およびその均質性を向上することが出来た。

また焼結過程における嵩比重を連続的に測定することによつて荷重を付加した場合の挙動を正確に把握することが出来、この特殊な焼結法のかなり有効なことを確認した。