

せられる強度よりも弱い力で破壊を起こしているものと考えられよう。以上のごとき見地から造粒時間および見掛固体密度の相違を補正するために、飽和度を横軸にとり圧潰強度と $(1-P)P$ の比を縦軸にして片対数グラフにプロットしたのが Fig. 4 である。これによれば飽和度約 75% 以上では、 $F/(1-P)P$ と飽和度とは造粒時間のいかんによらず指数関数で表わすことができる。すなわち、式 (4) なる実験式がえられる。この実験式の物理的意味を考察すれば、

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \cdot 0.7\epsilon} \dots\dots\dots (4)$$

TIGERSCHÖLD の報告のごとく生ペレットの圧潰強度が毛管力に比例するものとするれば、圧潰強度は $(1-P)/P$ に比例すべきであるが、これは飽和度 100% の場合に成立し、生ペレット中に気泡が存在する場合には強度が低下するものと考えられよう。ここにおいて、飽和度と生ペレット中の残留気泡 $[P(1-\epsilon)]$ は Fig. 5 のように直線関係があるので、 $P(1-\epsilon) = -a\epsilon + b$ (ただし a, b は定数) とすれば、(4) 式は (5) 式となり、 $P(1-\epsilon)$ を P^* で示せば式 (6) となる。

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \epsilon} = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta/a[-P(1-\epsilon)+b]}$$

$$= K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P(1-\epsilon)} \dots\dots\dots (5)$$

$$F = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P(1-\epsilon)} = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P^*}$$

$$\dots\dots\dots (6)$$

この結果についてさらに考察を加えるならば、(6) 式の型は焼結体の強度に関する KNUDSEN の式⁹⁾ (7) に相当している。

$$S = S_0 e^{-\beta P} \dots\dots\dots (7)$$

- S = 圧壊強度
- S₀ = 空隙率 0 の時の強度
- P = 空隙率
- β = 空隙に関する因子

すなわち S を生ペレット圧潰強度、S₀ を $K'(1-P)/P$ 、P を P^* とすれば、(7) 式は (6) 式の型を与えると考えられる。

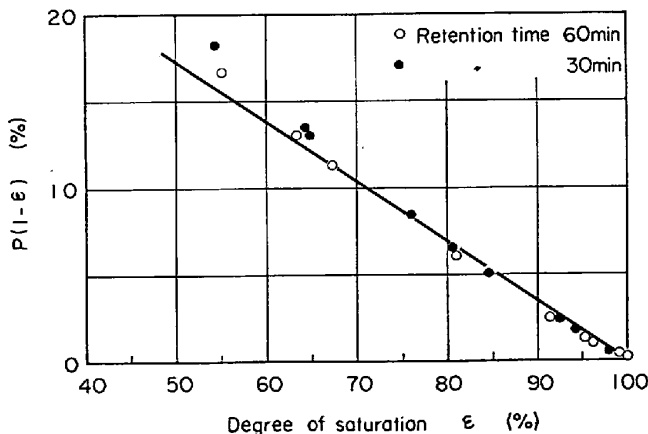


Fig. 5. $[P(1-\epsilon)]$ for green pellets in relation to degree of saturation.

*) P : Porosity of green pellets

5. 結 言

マルコナ粉鉱石を用いて種々の造粒実験を行なった結果、次のことが判明した。

- i) 造粒には最適水分域があつて、その範囲はきわめて狭いにもかかわらず、生ペレットの諸性質を決定的に支配する。
- ii) 最適水分量は造粒時間を短縮するほど増加させねばならない。
- iii) Pendular 域 (飽和度約 75% 以下) では造粒は可能であるが、圧潰強度の絶対値が小さく造粒条件の対象とはならない。
- iv) 生ペレットの圧潰強度は次式によつて示すことができる。

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \epsilon}$$

- F = 圧潰強度 P = 空隙率
- ε = 飽和度 K, β = 定数

K, β は鉱石の種類、粒度、結合液の性質によつて変化すると考えられ、上式は飽和度 75% 以上 (ほぼ Funicular 域) の造粒域において成立する。

文 献

- 1) TIGERSCHÖLD: Amer. Inst. Mining. Metallurg. Engr., 9, (1950) 18
- 2) 梅屋, 岩屋: 化学工学, 24 (1960), p. 230
- 3) KNUDSEN: J. Am. Ceram. Soc., 42 (1959), p. 376
- (その他) TERZAGHI: Soil Mechanics in Engineering Practice

(3) 粉鉱石のペレタイジングにおける潤態原料の磨砕混練効果について

矢作製鉄

工博 多田嘉之助・工博 杉浦 卓
安井 誠一・○加藤 正登

Effects of Damp Grinding on Pelletizing of Fine Ores

Dr. Yoshinosuke TADA, Dr. Taku SUGIURA
Seiichi YASUI and Masanori KATŌ

1. 結 言

粉鉱石のペレタイジングにおいて最も重要なことは、良好なグリーン・ペレットを作ることである。グリーン・ペレットの品質は、その多くを造粒機に供給される造粒原料の性状によつて決定される。造粒原料の性状には、粉鉱粒子の粒度、粒度分布、粒子形状ならびに表面特性などの原料鉱石自身にかかわる要因と、粉鉱粒子と造粒水分との組合わされた要因とがある。前者に関してはこれまでしばしば研究され多くの報告^{1)~3)}を見るが、後者に関してはそれほど研究されていないようである。

しかし、造粒工程は主として粉体粒子と水との力学的挙動によつてなしとげられるものであるから、両者の関係がいかにあるかは生成するペレットにとつて重要な要件である。そこで、造粒原料の湿潤状態を積極的に改善する手段として、湿潤原料の磨砕混練がその後の造粒工

程ならびに生成ペレットに及ぼす影響をもたらすものかを試験することにした。

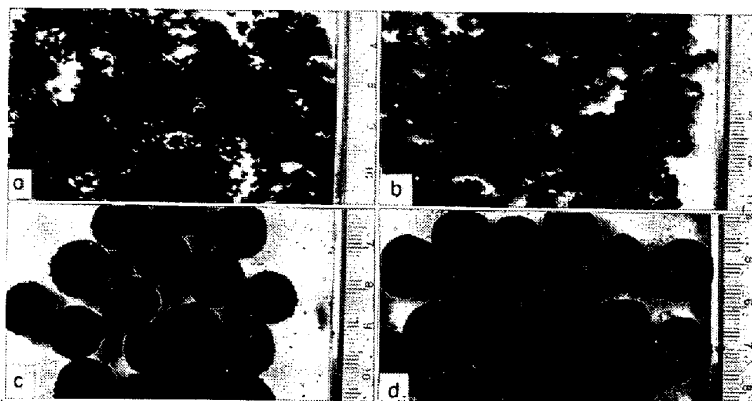
2. 粉鉱石の混練と性状の変化

一般に、造粒工程において粉鉱石を湿潤させる場合、水滴の分散は鉱粒表面の濡れ特性の相違や造粒効果によつて、局部的偏析を起こすのが普通である。すなわち、ある粒子の表面には過剰な水膜が形成されても、別の粒子には水膜が形成されない現象を呈する。このような状態では、粒子間の凝集、さらに粒子間毛管水による粒子の緊締もゆるいものとなつて、粒子群の密充填は望めない。

本来、良質なペレットを得る基本的要件は、ペレット内の粉体粒子の充填を密にすることである。そのためには、粒子間の結合を緊密にして粒子間水分を低めねばならない。粒子間水分には、粒子表面と水との間に働く分子間力などに基づく吸着水分と、単に粒子間空隙を埋めるだけの自由水分とがある。したがつて、粉体粒子を密充填するためには、この自由水分を極力低減させた状態で粒子間凝集を起こさせる必要がある。

ところで、湿潤原料の混練には混合作用、圧着作用ならびに擦り合せ作用などがある。したがつて、湿潤原料を混練するとそれらの総合作用によつて、粒子表面の水滴は均一に分散されるとともに、粒子間が圧着された状態で表面水膜が引き延ばされる。その結果、粒子全般にわたつて一様に、薄く、自由水分の少ない水膜が形成され、それによつて密充填の凝集粒さえ形成されることになる。なお、このような総合効果は原料を湿潤状態で混練する場合にはじめて求められるもので、乾態あるいは泥態における処理によつては達成されない。さらに、鋭角的ないし凹凸に富んだ粒子表面を持つ鉱粒の場合には、磨砕作用によつて粒子表面は丸くなるし、微粉粒も生成されるので、粉鉱粒子の充填性が大いに改善される。

ちなみに、混練に伴う湿潤原料の性状の変化を 2・3 例示する。Fig. 1 はゴア粉鉱を小型エッジランナ型混合機で混練した場合の水分と容積比重の関係で、これにより混練度の増加につれ比重が高まつて、粒子間の凝集が



a : Raw feed. No mulling
b : Raw feed. 60 min mulling
c : Green pellet. No mulling
d : Green pellet. 60 min mulling
Photo. 1. Goa pelletizing raw feed and green pellets.

Table 1. Change of particle size of pyrite cinder by mulling time (moisture content 18.4%).

Mulling time (min)	0	10	20	30
Particle size -325 mesh (%)	43.0	47.0	50.5	53.2
Specific surface area (cm ² /g)	2520	2660	2820	3090

進んでいることが知られる。また、粒子の表面形状が複雑な硫酸焼鉱の場合には、Table 1 に示すように混練とともに磨砕作用が見られる⁴⁾。一方、混練原料の外観を見ると、混練が進むにつれ粒子表面に水が浮き出し、マクロ凝集粒が多くなる (Photo. 1)。

3. 混練原料の造粒性

造粒機における造粒工程の初期は原料の混合と調湿作用であり、その後、粒子間の凝集を起こしてペレット核が形成されたり、既成小径ボールに吸着されて、それを成長させたりする。

しかし、混練原料は造粒機に装入される以前にすでに混合・調湿作用を受けており、しかも、粒子表面には一様な水膜が存在して凝集粒を形成している。したがつて、既成小径ボールに吸着してそれを成長させる作用をする。その結果、造核時間が短縮され、ボールの成長が促進されることになる。また、混練原料では水分が一様に分散され、しかも、粒子の表面水膜が薄くて完全であることから、余剰水分が少なく、それだけ低水分で造粒できる。

これらのことは、実際に、500 mm φ × 270 mm のバッチ式ドラム型造粒機を用いて試験した結果、確認された。すなわち、ゴアおよび三歩粉鉱についてエッジランナにより程度を変えて混練し、その後ドラムに装入して造粒試験を行なつた。Fig. 2 に造粒水分、混練時間と粒子成長速度との関係を示す。同一水分では、混練度の高いものほど成長速度が大きく、また、同一成長速度では、混練度が高まるほど造粒水分が低下することが知られる。

原料を混練すると凝集粒が形成されるために、造粒速度は初期段階の造核ないし小径ボールの形成までは非常に速い。しかし、ある程度ボールが成長すると、それか

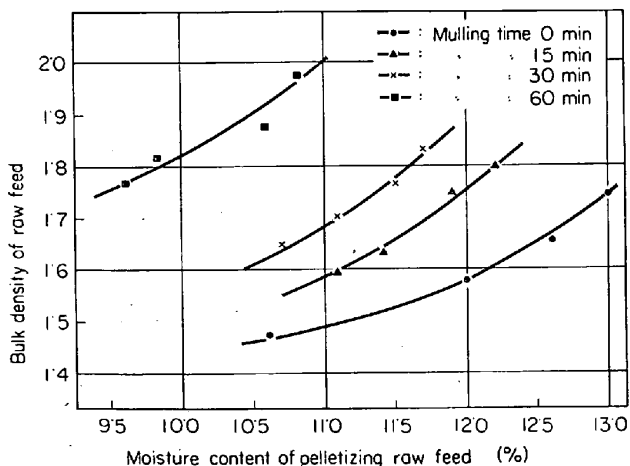


Fig. 1. Change of bulk density of Goa fine ore by moisture content and mulling time.

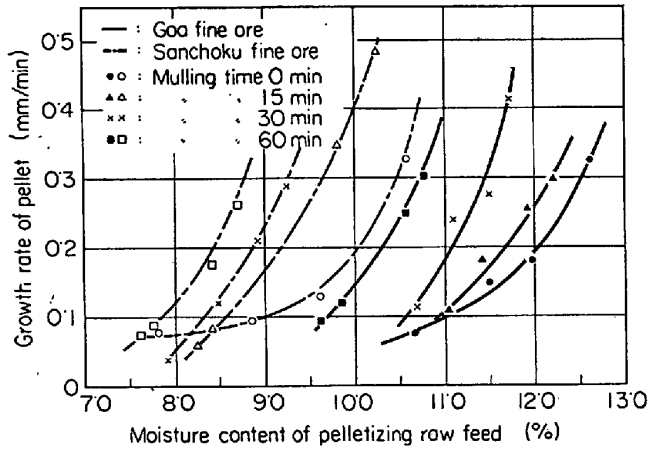


Fig. 2. Relation between moisture content, mulling time of raw feed and growth rate of pellets on pelletizing test of Goa and Sanchoku fine ores.

らの成長速度が鈍る。この場合、ボールの成長は凝集粒ないし小径ボールの接合吸収によつて行なわれるが、そのためにはボール表面層が粘着性をもち、しかも、吸収するためにはある程度の変形能を持たねばならない。この粘着性も変形能も多くは粒子間の自由水分によるものであるから、その少ない混練原料ではボールの後期成長速度が鈍ることになる。しかし、この現象は造粒工程の転動運動力によつて左右され、その力の大きい大型造粒機では、成長速度の鈍化するボール径はもつと大きくなつて、實際上問題にならなくなる。

4. 生成ペレットの各種の性質

普通、ペレットの性質は生・乾燥・焼成の3段階について問題とされる。生ペレットの強度は、主として充填粒子間に形成された水膜の毛管力と固体-水間の分子力に基づくものであり、両者とも水膜の厚みが小さくなればいちじるしく増大する性質のものである。したがつ

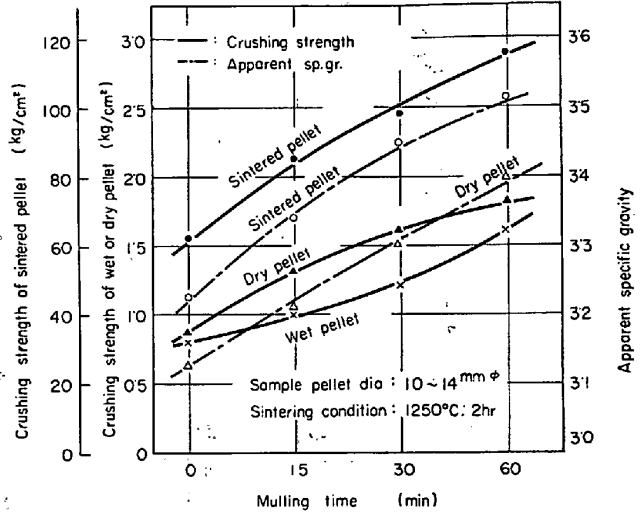


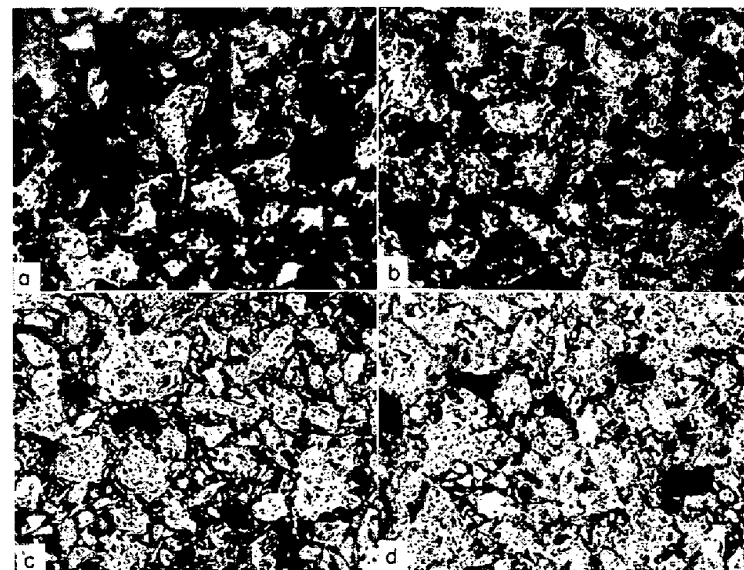
Fig. 3. Change of characters of pellets by mulling of Goa fine ore.

て、混練によつて生ペレットの強度は向上することになる。また、生ペレットの性質で問題とされる耐熱衝撃性は、乾燥過程においてペレット内に生ずる水蒸気圧にかかわるものであるから、ペレット内の気孔が小さいものほど、その圧力が増して熱衝撃抵抗性が落ちる。事実、混練原料から造粒した生ペレットは、ある程度この性質が低い。

乾燥ペレットの強度は、添加剤の効果は別として、構成粒子のかみ合せや粒子接合点に働く磨擦抵抗などに基づくものであるから、粒子充填の粗密と接合点密度によつて決められる。粒子充填体中の接合点数は空隙率と粒子径によつて左右され、両者とも小さくなれば増大する。したがつて、乾燥ペレットの強度は粒子充填が密になればなるほど向上する。

さらに、ペレットの焼成は粒子接合点における粒子間の結晶成長ないし再結晶に基づくもので、その速度は焼成温度、接合点密度、粒子径に影響される。焼成温度を固定すれば、密度が高くて粒子径の小さいものほど速い焼成を示す。したがつて、混練によつてペレット内の粒子充填が密になれば、焼成ペレットの強度は高まる。

実際に、混練造粒したペレットの性質を試験した結果の一例を示すと、Fig. 3 のようである。これはゴア粉鉄の結果であるが、たとえば、混練により焼成ペレットの比重はいちじるしく増加し、約2倍の強度を示すようになる。これらの結果は、焼成ペレットの顕微鏡組織観察からも納得される (Photo:2)。



a : Goa ore. No mulling d : Goa ore. 60 min mulling
 c : Sanchoku ore. No mulling b : Sanchoku ore. 60 min mulling
 Sintering condition : a, b 1250°C 2hr c, d 1150°C 2hr

Photo. 2. Microstructure of sintered pellets. x50(1/2)

5. 実際プラントにおける混練操作

以上によつて、造粒原料を事前に湿潤状態で積極的に混練することの効果が明確になつたが、これを実際の工程に応用するためには、なお、2・3の問題を解決せねばならなかつた。その第一は、湿潤状態の原料の混練に用いる機種である。従来、この種の工程にはほとんどエッジランナ型混合機を使用するのが常識であつた。しかし、これは稼働性と安全性の面から必ずしも長時間の連続

Table 2. Pelletizing test of pyrite cinder ground by small rod mill in damp state.

Raw feed	Bulk density of raw feed	Particle size -325 mesh(%)	Specific surface area (cm ² /g)	Moisture content on balling (%)	Wet pellet		Dry pellet		Sintered pellet	
					Drop test (drop times)	Crushing st. (Kg)	App. sp. gr.	Crushing st. (Kg)	App. sp. gr.	Crushing st. (Kg)
Not ground	1.10	55	2750	22.1	4	0.8	2.0	3.1	2.3	78
Ground 1	1.30	63	3790	19.2	24	1.0	2.3	6.4	2.7	118
Ground 2	1.65	69	4420	17.5	45	1.5	2.4	9.0	2.9	165

Note : pellet dia 10~14 mm, sintering condition 1150°C, 2 hr

Drop test : dropping distance 300 mm, shock plate-iron plate

使用に耐えるものではない。そこで、乾態あるいは泥漿原料の粉碎機として安定性のあるロッド・ミル、ボール・ミルについて試験した⁵⁾⁶⁾。その結果かかる目的の混練が可能であり、しかも、混練作用とともに磨砕作用もエッジランナ型より優れていることを知った。小型ロッド・ミルを用いて硫酸焼鉱を試験した結果の一部を Table 2. に示す。

いま一つの問題は、生ペレットの熱衝撃抵抗性が低いことであるが、これの解決には、乾燥過程を低温で比較的長時間行なうとともに、ペレット径を小さくする試験を行ない、これによつて実用上支障のないことを知った。

6. 結 言

粉鉱石のペレタイジングにおける湿潤原料の混練効果について、各種の鉱石を用いて試験した結果、良質のペレットを製造するためには、程度の差こそあれ混練操作がきわめて有効であることを知った。湿潤原料の混練には、水分を均一に分散させ鉱粒表面に薄水膜を形成させる作用と、磨砕によつて鉱粒表面の凹凸を少なくし粒子の充填性を改善する作用とがあるが、試験した試料のうち、ゴア（ヘマタイト系）、三陟（マグネタイト系）粉鉱石などでは主として前者の効果が認められ、硫酸焼鉱では両作用の効果が確認された。このような混練原料を用いて造粒すると、造粒が低水分で可能になりそれだけ粒子充填の密なペレットが生成し、生、乾燥、焼成状態における性質がきわめて顕著に向上する。

さらに、この結果に基づいて実際のペレタイジング工程に混練操作を加え、試験結果よりもいつそう優れた操業成績が得られた。なお、これらに関する技術については特許出願中である。

文 献

- 1) D. W. NEWITT: Trans. Ind. Chem. Eng., 36 (1958), p. 422
- 2) 加畑: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1262
- 3) 安井: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 593
- 4) 多田: 学振製鉄第 54 委 No. 842
- 5) 多田: 学振製鉄第 54 委 No. 931
- 6) 鉄鋼技術共同研究会, 製鉄部会資料, 鉄 26-15

(7) ペレタイジング工場の設備について

(神戸工場ペレタイジング工場の設備および操業経過について—I)

神戸製鋼所, 神戸工場

小南 曠・田口和正・樋口資隆
勝間田嘉和・○明田 莞

On the Installation of Pelletizing Plant
(On the installation and operation of pelletizing plant in Kobe Works (Nadahama)—I)

Hiroshi KOMINAMI, Kazumasa TAGUCHI
Suketaka HIGUCHI, Masakazu KATSUMATA
and Kan AKETA

1. 結 言

当社神戸ペレタイジング工場は 3 期工事の一環として原料事前処理の合理化、すなわち微粉原料の性状に応じた焼結工場とペレタイジング工場でそれぞれ処理することによつて事前処理の範囲を拡大せしめるとともに廉価な微粉原料の使用を可能ならしめ、さらにはペレット使用による高炉の生産性向上を計るため 1961 年に建設が計画されたものである。

当社のペレット原料には褐鉄鉱を含む多種類の赤鉄鉱の篩下が多く粉碎などの原料の調整工程に問題が多いためパイロット・プラントを中心とした研究を実施し、かかる原料に適した方法として乾式粉碎-プレ・ウエット (pre-wetting) 方式を確立した。

また焼成工程には高温かつ均一焼成の可能なものとして A 社の grate-kiln system を採用したが前記の原料を処理し得る 3 pass grate を新たに開発し、当所の原料条件にもつとも適したペレタイジング方式を確立するに到った。

かかる技術的基盤に立つて 1965 年 4 月に 3000 t/day のペレタイジング工場の建設を開始、1966 年 9 月に完工、以来順調に稼動しているので概要を紹介したい。

2. ペレタイジング設備の特色

2.1 乾式閉回路粉碎の採用

高炉用塊鉄の篩下粉からペレット原料 (-325 メッシュ 60~90) に粉碎する方式には、湿式粉碎と乾式粉碎のいずれかが用いられる。神戸工場ではペレットの粉碎原料として、赤鉄鉱、褐鉄鉱などの脱水困難な鉱石を用いることと、造粒に適した粒度と水分のペレット原料が得られ易いことおよび粉碎関係のコストが安く操業が容