

## 技 術 資 料

### 鉄 鉱 石 精 鉱 の ペ レ タ イ ジ ン グ

#### PELLETIZING OF IRON ORE CONCENTRATES

by  
T. L. Joseph\*

(Shinji Nikaido,\*\*Translator)

This paper was contributed to the Journal of the Iron and Steel Institute of Japan by T. L. Joseph, Professor of Metallurgy, University of Minnesota and was translated by a member of the Institute.

In the Paper, pelletizing process in U. S. A. which had developed from a pilot plant scale into a commercial scale, was described in detail.

In view of the fact that details of design and construction of pelletizing plant had not been released to the public, if any of the Japanese steel companies wished to take full advantage of the experience gained in the States, the author suggested that they might write to one of the following:

W. M. Kelley, President, Reserve Mining Company, Guildhall Building, Cleveland, Ohio.  
John C. Metcalf; The Erie Mining Company, 700 Selwood Building, Duluth 2, Minnesota.  
William A. Haven, President, Arthur G. McKee and Company, 2300 Chester Avenue, Cleveland, Ohio.

#### 緒 言

過去 60 年に亘つて、Mesabi 地方及び Lake Superior 地区は米国の工業の発達に非常に貢献して来た。1953 年の終り迄に、この地方は Minnesota からの 210,000 万 t 即ち全体の約 70% の供給量を含めて、293,100 万 t の鉄鉱石を産出して来た。過去 10 年間に於いて、Minnesota からの総積出し量は、主として Mesabi 地方からであるが、年平均約 6,600 万 t であつた。

過去に於いて Lake Superior 地区からの鉄鉱石の需要は、直接積出しの富鉄と塊状化する事なく市販出来る比較的塊状の精鉄とで供給されて来た。然し、将来は莫大な量の Minnesota の Taconite 鉄と Michigan の Jasper 鉄が優れた選鉄法に依つて母岩と鉄分を分離する為に比較的細かく粉碎されるであろう。選鉄法の如何を問わず、粉碎された精鉄は高炉に送つて溶解される前には塊状化せねばならない。更には、Taconite の外に周辺部の貧鉄石を高度に選鉄する事に依つて、塊状化する必要のある精鉄の量は莫大になるであろう。

粉精鉄より作られた焼結鉄は比較的ガスの透過が悪いので、もつと優秀な粉精鉄の塊状化の方法が活用される迄は精鉄工場への必要な資本投下は差しひかえられている。この必要を満す為にペレタイジング法が発達した。

\*\* 訳者—二階堂慎次、日本鋼管 K. K. 研究所

#### Taconite 以外の Minnesota に於ける 鉄 鉱 石 の 埋 蔵 量

Taconite を除いて Minnesota に於ける鉄石の現有埋蔵量は約 90,000 万 t と推定されている。これは、過去の消費割合で行くと、約 15 年間の需要を満す程度である。然しながら、現在の鉄床に延長して、新しい鉄石が発見され、莫大な量の周辺部鉄石或いは低品位鉄石が選鉄方法の改良に依つて市販可能な経済的品位にまで高められるであろう事は明らかである。Taconite 鉄と輸入鉄石を用いる事に依つて、過去に用いられて来た鉄石の埋蔵量の寿命は延長されるであろう。直接積出しの富鉄と選鉄に依つて品位を高められる鉄石の埋蔵量の所有権は、それ等を消費する製鉄会社の間で平等に分布していない。直接積出しの富鉄や選鉄する鉄鉱石の埋蔵量を比較的少ししか持たぬ会社は、過去 10 年間に於ては鋼の生産増大にもとづく需要を満す為に、より早く新しい鉄床を発見する必要に迫られていた。更には又、国内鉄石への長い間の依存に依り、多くの会社は国内鉄資源として Minnesota の Taconite を再認識する必要がある。

#### Minnesota Taconite の埋蔵量

\* Professor of Metallurgy, University of Minnesota

Taconite という言葉は北 Minnesota に 100 miles に亘つて長い帯状に露出している Biwabik 鉄鉱床の事である。帯の巾は 0.5~2.5 miles で厚さは 400~750 ft である。Gruner<sup>1)</sup> は北東 Mesabi 市より南西 Grand Rapids に至る 71 miles に及ぶ露出鉱床に 8,900,000 万 t の Taconite が埋蔵されていると推定している。27%Fe として、8,900,000 万 t の Taconite は 2,400,000 万 t の鉄を含んでいる。SiO<sub>2</sub> は平均 51% であるが、Fe% が 15~40% に変化しているのに従つて変動している。他の 1,000,000 万 t の鉄石が Taconite 鉄床の 14 miles 東に延長した処に存在する。之は大きな侵入に依り変質しているので、鉱物学的には Taconite と異つてゐる。

マグネタイト質 Taconite は最も選鉱しやすいものであるが、その中に含まれる石英、鉄珪酸塩、菱鉄鉱等の鉱物やマグネタイトは非常に細かく結晶している。Gruner に依ると、500,000~600,000 万 t のマグネタイト質 Taconite は露天掘で採掘されるが、他の 3,100,000 万 t は坑道掘である。露天掘で採掘され、磁選出来る Taconite は今迄に計画されて来た工業的 Taconite 処理工場で処理されるだろう。鉄の大部分がヘマタイトとして存在している Taconite の処理方法が以下の研究である。この様な資源の埋蔵量は多い。

### 工業的 Taconite 工場

Hubbell<sup>2)</sup> に依つて指摘される様に、Taconite の活用は中間試験段階より大規模工場の初期の段階に移つて来た。Erie Mining Co.; Reserve Mining Co.; Oliver Iron Mining Co. はそれぞれ年間 20 万 t, 30 万 t, 50 万 t の能力を持つ中間試験工場を操業している。1948 年 6 月にその中間試験工場の操業を開始した Erie Mining Co. は年間約 1050 万 t の精鉱を生産する能力の工場の最初の一系統の建設を開始した。又 Reserve Mining Co. では、同様の能力の工場の最初の一系統の基礎工事が行われている。之等の工場は、62~64%Fe, 8~10%SiO<sub>2</sub> の精鉱 1 t を生産するのに約 3 t の原鉱を必要としている。この計画された Taconite 工場を完成するのに約 5 億ドルの費用が必要であろう。

Oliver Iron Mining Co. はその中間試験工場から生産された Taconite 精鉱と -3/8 in の粒度の水分の多い富鉄石の粉鉱とを、移動グレート焼結機か回転炉で塊状化する前に混合している。他の二つの中間試験工場よりの精鉱はペレタイズしている。

### Minnesota の中間鉄及び水洗鉄

過去 10 年間に Minnesota からの精鉄の総積出し量は年間約 1500~2700 万 t に及んでいる。大量の -48 mesh の鉄石は、一部は満足な選鉱方法が無い事と一部は粉のヘマタイトはマグネタイト程簡単に塊状化出来ないとの理由で一時的に捨てられている。その上、鉄山会社は塊状化に依り改良された物理的性質に対して割増金が付かない時に、コストのかかる塊状化を必要とする精鉄の生産を差しかえている。

SiO<sub>2</sub> の低い輸入鉄石とか、高品位の Taconite 精鉄、或いは Jasper からの高品位の浮選精鉄に刺激されて、水洗鉄や中間鉄からの SiO<sub>2</sub> の少い精鉄の生産が活気づけられるであろう。このゴールに到達する為には、粉のヘマタイトを処理するので一層細かく粉砕する事と、更に満足出来る様な処理方法が必要であろう。水洗鉄や中間鉄の処理に於ける一般的な傾向としては、もつと細かく分離された精鉄、逆にいえば塊状化が益々必要となる様な精鉄の生産に向うという事であろう。

### Michigan の Jasper 鉄

Michigan の Jasper 鉄床は Minnesota の Taconite 鉄床と或る点に関しては略々同様である。両鉄石とも両地方の富鉄石が生成された母岩の様なものである。鉄床は大きく、鉄分の分離には粉砕が必要であり、精鉄は塊状化せねばならない。

Cochran<sup>3)</sup> は 1954 年の初めにこの鉄石について試験を開始した Humboldt 新浮選工場に関する報告を行っている。低品位の Jasper 鉄は Specular-hematite と黒珪石中の Martite より成つている。-48 mesh に粉砕する事に依つて、片状の Specular-hematite の形で鉄を分離することが出来、サイクロンで約 5% のスライムの除去の後、オレイン酸で容易に浮上らせる事が出来る。形が片状である事と、スライム量が比較的少いので Specular-hematite は Mesabi のヘマタイトより容易に浮かせられる。

### 他のペレタイジング工場

Pennsylvania の Cornwall 鉄山からのマグネタイト精鉄は Bethlehem Steel Co. の Lebanon に於ける中間試験工場で数年間ペレタイジングされた。この工場は最近年間能力 30 万 t に拡張され、会社は他に 2 つの工場を計画している。Candian 工場は年間 50 万 t の能力を持つものであり、Pennsylvania の Morgantown

にある新しい鉱山の工場は年間 200 万 t の能力となろう。International Nickel Co. は Canada の Sudbury に大量の焼成した黄鉄鉱を塊状化するペレタイジング工場を計画している。

### ペレタイジング法の発達

粉鉱の湿潤した粒を塊状化し、加熱に依り充分に硬化させる為に種々の提案が 1944 年以前に為された。米国に於いて急速に発達したペレタイジング法は、最初 1944 年に C.V. Firth<sup>4)</sup> に依つて発表された。この方法は、Minnesota 大学の鉱山研究所で E. W. Davis<sup>5)</sup> H. H. Wade の指導の下に、粉碎選鉱された Taconite 精鉱の処理へと発展された。この方法の基礎段階は達成されたが、各会社、就中 Erie Mining Co. はこの方法を実施する為に多くの装置の改良を行つた。熱交換の原理を大規模工場に利用することに依つて、例えば Erie Mining Co. はシャフト炉の必要熱量をペレット t 当り 500,000 BTU 以下に減ずる事が出来た。Firth の報告では、この熱量はペレット t 当り 2,000,000 BTU 以上が必要と述べていた。

ペレタイジング発達の初期の段階に於いて著者<sup>6)</sup> は天然鉱石や焼結鉱と比較して、ペレットの性質を研究する機会を得た。研究室の試験<sup>7)</sup> では、ペレットの還元性は天然鉱石と遜色なく、代表的な市販焼結鉱よりも非常に優れている事が判つた。ペレットの高度の還元性は約 28% の気孔率と大部分ヘマタイトとして鉄が存在することに依るものである。ペレットはサイジングされない天然鉱石やサイジングされた焼結鉱よりも優つている。これは高炉に於けるポイドの上昇と、装入物の透過性の向上

をもたらす。一定の鉄分、一定の真比重の場合、ペレットの高比重は焼結鉱より優つているが、普通ポイドの小さい鉱石の高比重よりも劣つている。簡単にいえば、ペレットは他の塊状化鉱石より優り、高炉に装入した時は還元性の良いヘマタイトと遜色はない。然しながら、この優れたペレットの性質も、以下の事実が証明される迄は製鉄会社の幹部や高炉の操業者に充て認められなかつた。即ち、Minnesota 大学の 6 t 試験高炉で行われた試験<sup>7)</sup> で、ペレットの量を 100% 迄増加して鉄 t 当りのコークス消費量が減少し、出鉄量が増加したことが証明された。

### ボールの生成

ペレタイジングは二つの基本段階より成つている。即ち湿潤した鉱石は球状団塊或いはボールに作られる。そしてボールは加熱に依つてペレットに硬化される。(Fig. 1. 参照) ボールの生成作業は処理される鉱石の性質に依つて調節されねばならない。適当なボールを作る為に磁性 Taconite の精鉱は総べて大体 10% の水分を含み、-65 mesh に粉碎されねばならない。普通鉱石の 60% 以上は 325 mesh 篩を通過せねばならない。然し、この様に非常に細かい精鉱は濾過する事は困難で特に水分を約 10% と一定にする事は難しい。この事は、特別のナイロンの濾過布に水銀柱 25~26 in の真空吸引を適用する事に依つて解決した。

米国では湿潤ボールの生成に円筒形ドラムが用いられて来た。歐洲に於いては、垂線に対して 30° 傾斜した回転円板が原料セメントやコークスのペレット生成に用いられている。之等のペレットは燃料と空気が高圧送風機で

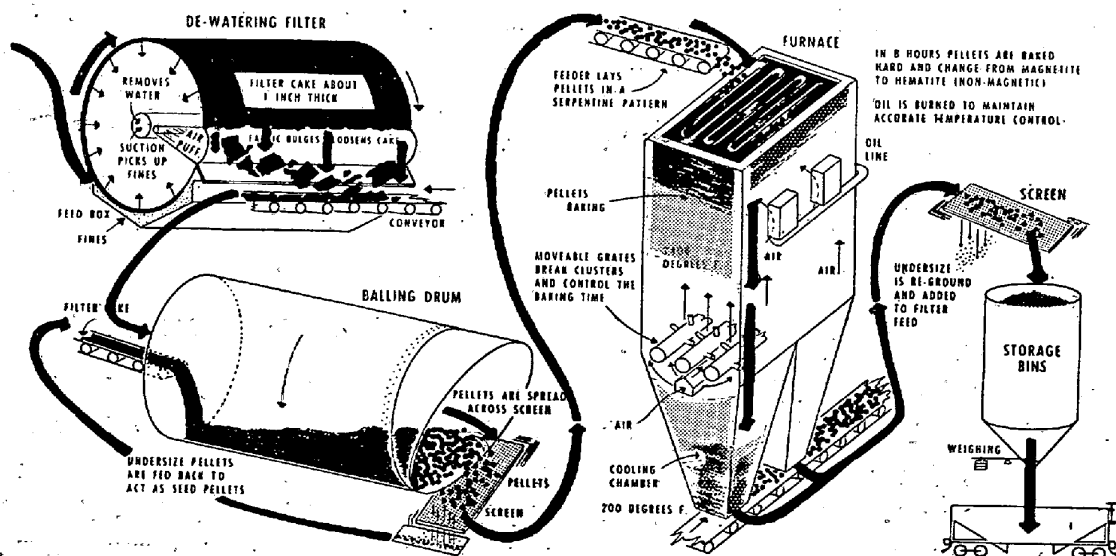


Fig. 1 Diagrammatic flow sheet of pelletizing in a shaft-furnace. (Steelways)

吹き込れるシャフト炉で焼成される。Tigerschiold<sup>5)</sup>はこの型式のボーリング装置の小規模実験でSwedenのマグネタイト精鉱のボーリングに有望な結果を得たと報告している。その結果として、直径 12ft のテーブルがSwedenのMalmbergetのペレタイジング工場に於いて試験されている。セメント混合原料のペレタイジング用のボーリング鍋は西独のNeubeckumのPolysius Co.で作られており、OhioのWarrenにあるWean Engineering Co.を通して米国でも利用されている。

回転ドラムで作られたグリーンボール(生ボール)の性質はドラムの周速度、傾斜、長さ、鉱石の水分等の種々の要因に影響される。周速度は鉱石が滑らずに或る程度回転しながら落ちる様な速度でなければならない。生成ドラムからのボールの大きさは或る程度、保持時間その他の要因に依つて影響されるが、大きさの変化はリターンとなる小ボールに用いる篩の目を変える事に依つて調節出来る。ドラムの傾斜が大きすぎるとか、回転速度が遅いとか、原料の層が薄いとか、或いはドラムが長すぎる場合が生成ドラムから出るペレットの大きさを大きくする。米国に於けるボーリング作業は7/8inのボールを作る様に設計調節されている。一般にドラムの長さは直径の2.3~3倍でなければならぬ。8ftの径のドラムは270ft/mnの周速度で作業した場合7/8inのボールを1日1000tまで生産出来るだろう。Swedenで1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>inのボールを作る場合に、4ft径のドラムを70~120ft/mnの周速度で作業して1日120 metric tonの生産が得られる。

ボールを希望の大きさに作る為に、篩がドラムの排出側に置かれ篩下のボールはリターンさせる。篩下ボール

のじゆんかん量は100%から多いときは400%に亘つているが、之は大きいボールが生成される時の核として働く。生成ドラムの内面は適当な状態になければならない。さもないと、ボールは満足に生成されない。経験に依るとTaconite精鉱の様な粉は充分堅固な層で満足すべき内面を生成する。その様な層は適当な注意が払われないと、不規則となる。その層は成形ドラムの長軸に平行に搔落し棒を使用する事に依つて均一な厚さに保つ事が出来る。搔落し棒はドラムの全長に亘り内面より数インチの処に位置している。その棒にはWCの様な硬質合金の削工具が等間隔に備付けられてあり、かきならし棒の前後への一行程でドラムの全表面がかき落される様になつている。この搔落棒はFig. 2の左上部に見られる。Swedenに於いては、回転するスパイラルのスクレイパーがドラムの内面を搔きならすのに用いられる。

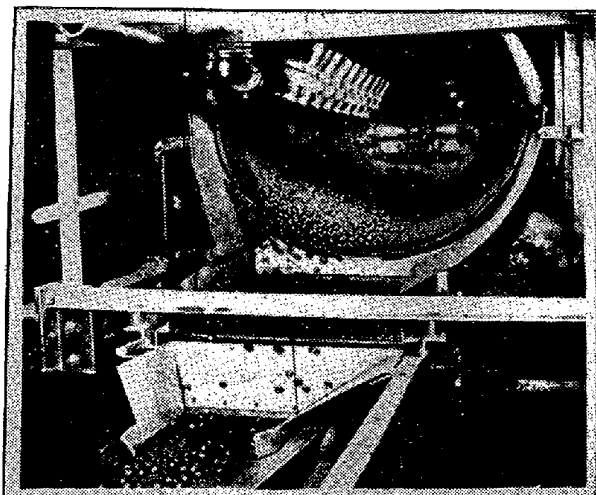


Fig. 2 Balling equipment of Minnesota Mines Experiment Station. (Davis and Wade)

Table 1. Compressive strength in pounds of balls made from magnetite ore (Davis and Wade)\*

Ore	Wet Balls			Dry Balls		
	Ave.	10 Strong	10 Weak	Ave.	10 Strong	10 Weak
A	2.35	2.79	2.01	5.75	7.50	5.00
AA (2# Starch)	2.53	2.92	2.20	8.45	9.90	7.45
B	3.52	4.00	2.98	1.75	1.99	1.51
C	3.19	3.48	2.60	1.15	1.32	1.00
D	4.16	4.74	3.69	2.88	3.30	2.51
E	4.44	6.10	3.10	7.06	8.60	4.21
F	3.55	4.00	3.04	3.70	4.07	3.17
FF (1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> # Starch)	3.34	3.91	2.87	6.53	7.31	5.68
G	5.00	5.68	4.50	5.30	6.23	4.42
H	2.60	3.06	2.23	2.02	2.46	1.60
HH (4# Bentonite)	3.22	3.82	2.71	5.47	6.11	4.84
HHH (2# Starch)	2.67	3.15	2.29	5.42	6.22	4.80
I	4.57	5.09	3.89	4.91	5.48	4.39
J	3.62	4.87	2.71	2.29	3.39	1.35
JJ (5# Sodium Sil.)	3.86	5.29	3.07	5.18	7.10	3.54

\* Information Circular No. 6, Mines Experiment Station, University of Minnesota.

### ボールの性質

生ボールは取扱、運搬、或いは硬化加熱炉への装入等に耐えるに十分な強度を持たねばならない。満足なボールは床の上 2~3ft の高さから落ちた時に判別出来る程に破碎したり、平たくなることはないであろう。Davis<sup>9)</sup> と Wade は、色々のマグネタイト鉱石で添加剤を用いた時と用いぬ時での生ボールと乾燥ボールの強度の変化を報告している。(Table 1 参照) 200 ケのボールのランダムサンプルの半数を湿潤強度の試験に用い、他の 100 ケのボールを乾燥強度の試験に用いた。Table 1 の最初と第 4 番目の行は 100 ケのボールの強度の平均で、他の行は 10 ケの最も強いボールと 10 ケの最も弱いボールの平均強度を示している。

Davis と Wade に依つて観察された耐圧強度の差異は粒径の変化と精鉱の或るものに含まれている自然の結合物質に帰せられる。澱粉、ペントナイト、珪酸ナトリウムの様な添加剤は乾燥ボールの耐圧強度を上げるのに最も効果的である。この事は、乾燥強度は湿潤強度より重要でボールは焼成加熱作業中に乾燥状態でより大きな荷重に耐えねばならないという理由で、重要な事である。工業的規模の工場での大量生産に対しては、ペレット t 当り (乾燥重量) 10~15 lb のペントナイトが最低乾燥耐圧強度を保つ為に急速に添加される。この乾燥強度は初期の実験研究に於いて報告された値よりも非常に高い値である。Cooke と Ban<sup>10)</sup> は珪酸ナトリウムか澱粉の飽和溶液に粉のマグネタイトを懸濁させた噴霧を乾燥ボールの表面に吹き付けた。この珍しい方法では、試薬は熱いペレットの表面に附着し、皮が剥れることはない。而して、この強度の増加を Fig. 3 に示す。

Ilmoni と Ugglä は 99% マグネタイトと 1.0% 岩分を含む非常に高品位の Malmberget 精鉱より作った生、乾燥、焼成の各ペレットの性質を研究した。之等の研究者の結果の報告に於いて Tigerschiöld<sup>11)</sup> は鉱石の 71.6% は -400mesh 或いは 0.038mm より小さいと指摘している。耐圧強度以外の他の多くの物理的性質の完全な結果が報告されているので、Ilmoni と Ugglä のデータを Table 2 に示す。

生ペレットは焼成の初期の段階に於いて急速に加熱されるので、急速加熱に依る破碎や亀裂に対する抵抗は実際重要な問題となる。Ilmoni と Ugglä はペントナイト、CaO、CaCl<sub>2</sub>、NaCl、硼砂はショック (破碎) 温度を高める事を見出した。この温度は、炉の内に一組づつのペレットを次々と装入し、炉の温度を漸次上昇して

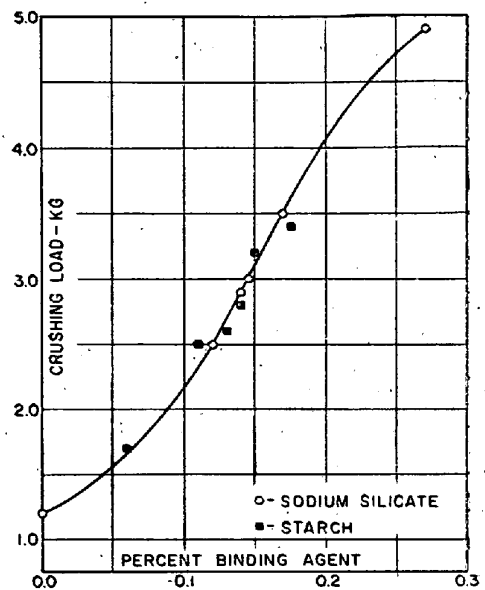


Fig. 3 Effect of binders added to the surface of pellets on their dry strength. (Cooke and Ban)

行く事に依つて決められる。炉の加熱能力は、ペレットが装入された時に一定温度以下に温度が下るのを防ぐ為に、生ボールの熱容量に比較して大きくしてある。熱い炉の中にペレットが装入された時に、ペレットが亀裂を示す温度がショック (破碎) 温度である。NaCl、硼砂の少量の添加はショック温度を 600°C 以上に高める。之に反して添加しないペレットは僅か 175°C 迄の急速加熱にしか耐えられない。

### 添加剤の影響

シャフト炉に装入前の生のボールの過度の破壊や、ストックラインの近くで、部分的に乾燥されたボールの過度の破壊は炉内での、不規則なガスの流れ、加熱の不均一従つて非常な操業困難をまねく。焼成ペレットの破碎強度は冬期の貯蔵の間の粒度の低下や、鉄道又は船に依る積出しや運搬中の破損を防ぐ為に、或る標準値以上でなければならない。それ故に、湿潤強度、乾燥強度、焼成強度に及ぼす添加剤の影響は実際問題として重要である。

### グリーンボールの強度

Ilmoni と Ugglä はペントナイト、CaO の添加は 20mm のボールの生の強度を増すが、CaCl<sub>2</sub>、NaCl、硼砂は殆んど影響しない事を知った。生ボールの破碎強度は添加剤なしの 2.1 kg から Wyoming ペントナイト 0.5% 添加の 3.5 kg に及んでいる。

### 乾燥ボールの強度

Table 2 Influence of additives on pellets made from Malmberget concentrates\*

Property	No Additive		Bentonite		CaO					CaCl <sub>2</sub>		NaCl	Borax
	a	b	0.25%	0.5%	0.5%	1.0%	3.0%	5.0%	0.25%	0.5%	0.25%	0.15%	
Green Balls:													
Water content Ww, %	6.5	6.9	7.1	6.9	6.5	6.5	6.6	6.5	6.6	6.6	6.7	7.0	
Apparent density, g./cc	3.59	3.52	3.54	3.47	3.53	3.55	3.49	3.37	3.56	3.57	3.55	3.52	
Porosity, %	30.3	31.5	31.0	32.1	30.8	29.9	29.4	30.3	30.7	30.2	30.8	31.3	
Resistance to dropping, cm	100	100	100	105	110	115	125	125	100	105	105	90	
Resistance to knocking- No. of falls from 10 cm.	25	22	30	35	22	29	36	32	17	17	20	25	
Crushing strength, kg.	2.2	2.1	2.9	3.5	2.6	2.8	3.2	2.9	2.0	2.0	2.0	2.4	
Dry Balls:													
Crushing strength, kg.	0.4	0.4	2.9	6.8	3.5	4.5	8.3	8.0	1.4	2.0	1.3	0.7	
Resistance to rapid drying- Shock temperature, °C	175	175	500	450	n.d.	n.d.	n.d.	350	350	350	+600	+600	
Fired Pellets:													
Apparent density, g./cc	3.97	3.95	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.0	3.94	3.95	3.92	n.d.	
Shrinkage at burning, %	5.1	5.2	6.1	7.3	n.d.	n.d.	n.d.	13.6	5.3	5.4	5.2	5.9	
Crushing strength, kg.	1130	1520	1750	1970	1260	1770	1930	2310	1250	1250	1650	1475	
Strength at reduction:													
Material+10 mm., %	89	90	83	96	94	99	91	99	94	93	19	20	
" +6 mm., %	89	92	83	96	97	99	95	99	96	94	31	24	
Reducibility:													
Time for 50% red., min.	21	n.d.	n.d.	24	21	22	24	26	n.d.	19	20	n.d.	
" " 95% red., min.	85	n.d.	n.d.	90	120	95	96	98	n.d.	76	78	n.d.	
Change of volume at reduction, %	+60	n.d.	n.d.	+33	-6	+8	-1	+9	n.d.	+18	+110	n.d.	

n.d. = not determined. Diameter of pellets = 20mm

\* Magnus Tigerschiöld, "Aspects of Pelletizing of Iron Ore Concentrates",  
Journal of the Iron & Steel Institute (London)

前に述べた添加剤の総べては乾燥強度を増加させる。0.5% のベントナイトは乾燥強度を 0.4 kg から 6.8 kg へ増加させる。更に多量の CaO (3%) は破砕強度を 8.3 kg 迄高める。然し、尙 5% 迄増加すると強度が僅か低下する。この事は 3.0% の石灰は Malmberget 精鉱には最適の量であることを示している。CaCl<sub>2</sub> (0.5%) NaCl (0.27%)。硼砂 (0.015%) の添加はそれぞれ、500%, 315%, 175% 乾燥強度を増加する。

### 焼成ペレットの強度

比較的安価で高炉に於ても平炉でも価値のある CaO が焼成ペレットの強度に影響を与える事は興味深い。然しながら、強度の増加は CaO の添加量が 0.5% 以上となる迄は明らかでない。Ilmoni と Uggla は SiO<sub>2</sub> の低い (0.16%) 精鉱への石灰の添加に依る強度の増加は Calcium ferrite の生成によると結論している。彼等は X線の研究に依つて、出来た Calcium ferrite は多分 CaO·2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の組成をもつことを知つた。Ban と Erck<sup>12)</sup> は 2.5% の石灰石の添加は、61.9% Fe, 7.32% SiO<sub>2</sub> の精鉱から造つたペレットの強度を増加する事を見出した。強度の増加はペレットが 1100°C 以上の温度に焼かれる迄は現われない。1200°C に於いて、石灰は

強度を倍にし、1300°C に於いて石灰の入つたペレットは添加されないものの 3 倍の強さとなる。

Ilmoni と Uggla は CaCl<sub>2</sub> は焼成後のペレットの強度に影響しない事を見出した。然しながら、NaCl と硼砂は焼成ペレットの強度を増加する。Tigerschiöld<sup>13)</sup> は Sodium ferrite が出来るかもしれないと指摘している。Ban<sup>14)</sup> と Erck は硼砂の影響に依る強度の増加は、ペレットを 500°C に焼いた時に明らかとなつたが、その影響はもつと高い温度ではつきりすることを見出した。一般に、焼成後のペレットの強度に及ぼす添加剤の影響は、比較的低融点の鉱物の生成に依る fluxing action に依るものと思われる。この fluxing action は温度が高くなると、更にはつきりするのであるが、より強力なるペレットを作る為の一つの手段である。

### 混合の重要性

添加剤は最も完全に精鉱と混合した時に最も効果的である。実際には添加剤はボーリングドラムに至る移送コンベヤー上の精鉱の層の上に加えられる。Ilmoni と Uggla は完全に混合された時は 0.3% のベントナイトで充分であるが、成形ドラムで行われる普通の混合では 0.5% 必要であることを見出した。CaO の添加は焼石

灰を水酸化物にする為に成形作業の 1~2h 前に為さねばならない。Ilmoni と Uggla に依るとポーリング中に直接石灰を添加することは乾燥及び焼成ペレットの強度を低下させる。CaCl<sub>2</sub> や NaCl の様な水溶性の塩類は精鉱中の水分にとけて容易に分布される。

### 加熱中のマグネタイトペレットの結合

酸化はマグネタイトペレットの結合と、その結果として運搬や積出し中の破損に耐えるペレットの生産に重要な役割を演じる。若しも混合原料が 1~2% の固体燃料を含んでいると、ペレットの中心部における僅かな還元性条件のために酸化がさまたげられる。普通、炭素を含みぬマグネタイトペレットは完全にヘマタイト迄酸化するだろう。ペレット中の発熱反応は、中心部をより急速に昇温せしめる。更に、マグネタイトの酸化に依つて作られるヘマタイトはマグネタイトよりもより敏感に結晶粒の成長と結合を特に低温度で行う。後で述べる Cooke と Ban の初期の研究と一致して Tigerschild<sup>15)</sup> はマグネタイトの粒は 200~300°C の様な低温度でゆつくり酸化し、結合を開始すると報告している。

Zetterstrom<sup>16)</sup> はいくつかの細かく砕いた天然のマグネタイトと一つの人工のマグネタイトより成るペレットの重量の増加を調べた。大き 0.741in 乃至 0.371in のペレットの浅い床が空气中で 400°C~1000°C の温度範囲で加熱した。その結果は Fig. 4 に示されている。Aurora 精鉱の結果は Zetterstrom に依つて得られた他の精鉱の結果の中、典型的なものである。400°C 900°C, 1000°C に於いて起る実際の酸化は約 10 分で大体において完了する。これらの結果はマグネタイトペレットは若しも固体炭素が存在しなければかなり速かに酸化する事を示している。加熱の初期の 4~10mn 以後にはどんな温度でも極めて僅かな酸化しか起らないという事実に対しては何等説明されていない。

Zetterstrom がヘマタイトの磁化焙焼に依つて作った人工のマグネタイトは Fig. 5 に示される様に 400°C で極めて早い速度で酸化した。人工のマグネタイトは天然のマグネタイトより細かく結晶していると予想されるので、結晶粒度が重要な要因であることを之は示している。Zetterstrom は酸化の速度は、温度や空気の流量や酸化ガス中の O<sub>2</sub>%, それに精鉱の粒径の減少に依つて増加することを知つた。酸化には収縮が伴う。

### マグネタイト結晶の結合

Cooke と Ban<sup>17)</sup> は細かいマグネタイトは研究室に

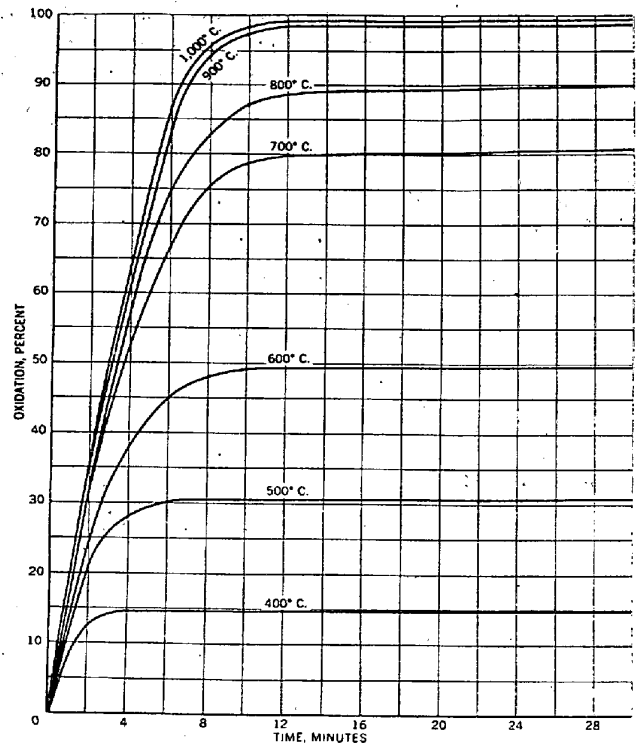


Fig. 4 Oxidation of magnetite pellets in air (Zetterstrom)

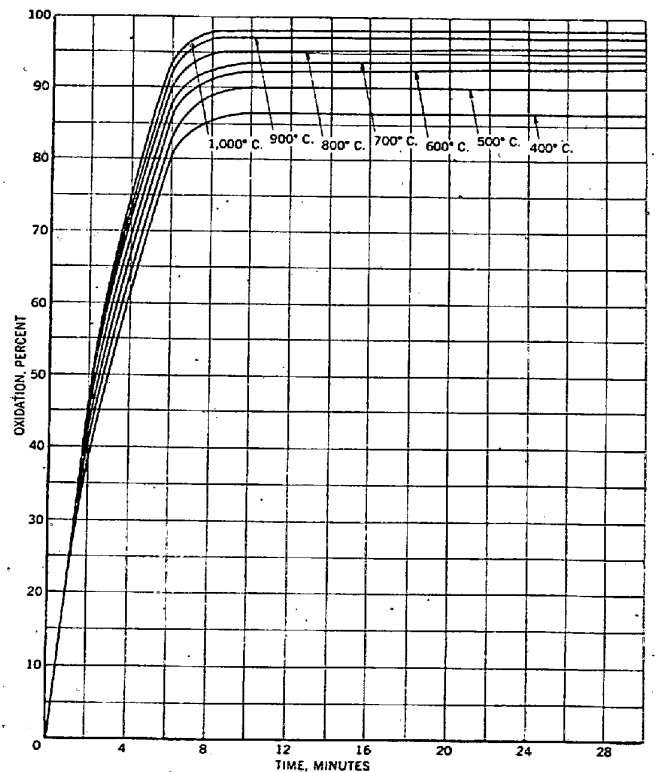


Fig. 5 Oxidation of artificial magnetite pellets in air. (Zetterstrom)

於ける 200°C, 30mn の加熱で或る程度酸化することを見出した。空气中で 300°C, 30mn の加熱後の酸化では

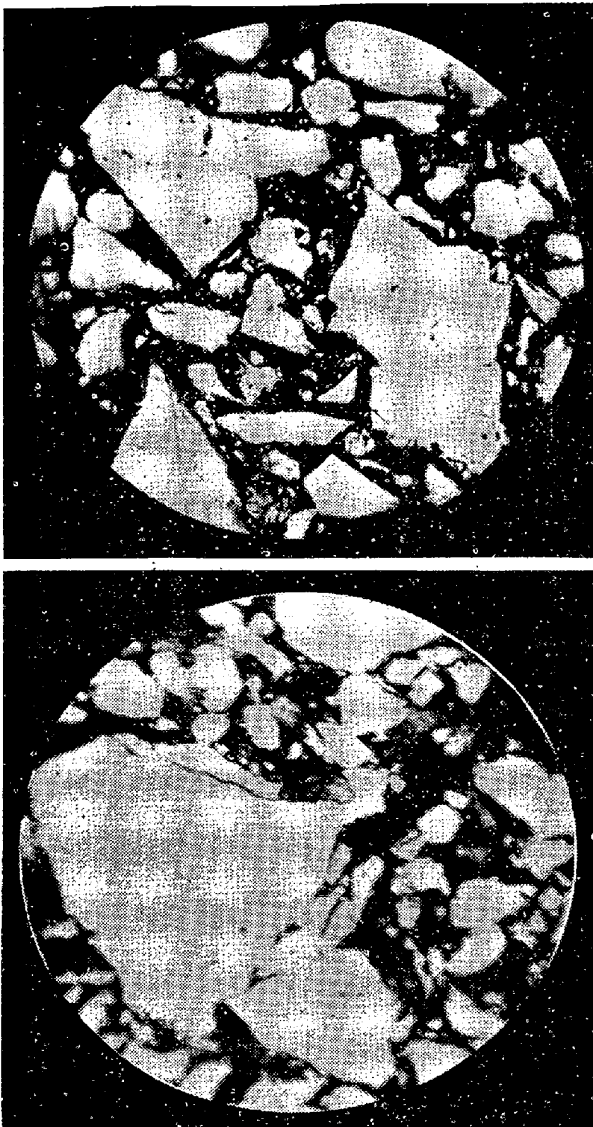


Fig. 6 Sections of magnetite pellets.  
(Cooke and Stowasser)

(Upper) Separate sharp edged grains before firing  $\times 1200$  ( $2/3$  Contracted) oil immersion.  
(Lower) Bridging of magnetite grains after firing at  $900^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 1000$ , ( $2/3$  Contracted) oil immersion.

強度が僅かに増加した。酸化の瞬間、鉄原子は明らかに非常に動きやすくなり、自由に交代したり再配列する。一方マグネタイトペレットの強度は  $200\sim 660^{\circ}\text{C}$  の間で中性の雰囲気中の加熱後低下する。 $900^{\circ}\text{C}$  に於いてマグネタイトの角ばった結晶は Fig. 6 にみられる様につながる。 $900^{\circ}\text{C}$  以上でマグネタイトの細かい粒は結合しマグネタイトの粗い結晶の連続的な網目が形成される。

又之等の研究者達は、中性の雰囲気中で焼成されたペレットの結合には、マグネタイト中の二価の鉄イオンがそのまま保持されつつ Silicate Slag を生成することが重要な役割を演ずる事を見出した。マグネタイトの結晶

が成長し始める温度より僅か上の温度で出来る slag はマグネタイトの固体の結晶をぬらし、冷却時に非常に強い結合を為す。然しながら slag-magnetite の結合は普通マグネタイトの結晶の間で為される結合程強くはない。

### ヘマタイト結合

マグネタイトのヘマタイトへの酸化はペレタイジングの過程において非常に重要である。酸化は  $600^{\circ}\text{C}$  以下で始まるから、ペレットが大きな荷重に耐えねばならなくなる前に比較的強い殻が生成される。更に、3 価の鉄の状態にあるヘマタイトは  $\text{SiO}_2$  や珪酸塩と比較的高い温度でも反応しない。それ故に、スラグ化のためのペレットの変形とか、スラグが押し出された為にペレットがくつつさ合つたり棚を吊ることは殆んど起らない。Cooke や Stowasser<sup>18)</sup> に依ると、マグネタイトの単結晶が中位の温度で優先的に酸化して数箇のヘマタイトの結晶になる。更に高い温度ではヘマタイトの結晶は成長し、大きくなり、究極的には最初のマグネタイトの単結晶がヘマタイトの単結晶に変わるのである。この変化がペレットの内部で次々と進行してペレットはより強くなる。ヘマタイト結合に依つて3つの近接した粒子の結合する状況が Fig. 7 に示される。

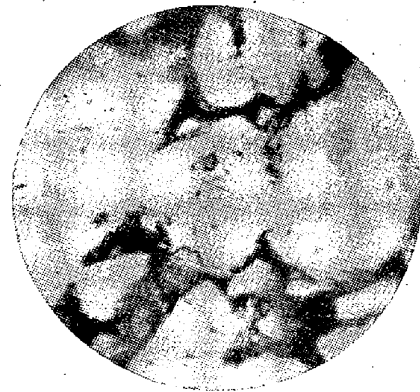


Fig. 7 Cementation of three neighboring grains after heating a magnetite pellet to  $800^{\circ}\text{C}$  in air.  $\times 2000$ . ( $1/2$  Contracted) (Cooke and Stowasser)

Cooke と Stowasser<sup>18)</sup> は二つの平面に沿つて可成りの圧力の下に締めつけながら二つのマグネタイトの小塊を加熱する事に依つてヘマタイト結合を研究した。空気中で  $800^{\circ}\text{C}$  2h 加熱し、冷却後締具をはずした処、塊は互にくつついた。塊の接合面に沿つたマグネタイトのヘマタイトへの酸化は Fig. 8 に見られる。ヘマタイトの二つの塊は同様の処理を行つても附着しないという事は、新しく酸化したヘマタイトの鉄原子は普通の鉄原子よりも再配列とか結合するのに敏感で動きやすい事を示して



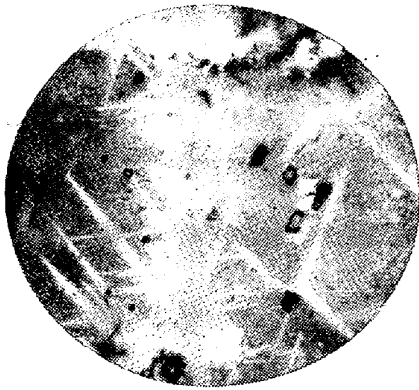


Fig. 8 Line of cementation of two magnetite blocks clamped together and heated to 800°C in air for 2 hours. Light hematite, dark magnetite.  $\times 2000$ . (1/2 Contracted) (Cooke and Stowasser)

いる。更に重要な事は、緩く押し固められたマグネタイトの結晶は空気中で加熱後結合しない事である。効果的な結合に対しては高圧は必要な条件である。

1300°C 以下のヘマタイト結合に於いては、2 価の鉄は存在せず鉄原子が結晶から結晶に移る為の媒体としての slag は生成されない。この温度以下の結晶粒の成長は、従つて鉱物中の鉄原子の移動性にのみ依つている。然しながら普通精鉱中に存在する石英や珪酸塩の結晶は 1300°C ~ 1400°C で slag を作るだろう。これ等の温度では、ヘマタイトは熱的に不安定で、低温度でのヘマタイトの特性である連続的の網目がヘマタイトやマグネタイトの大きな固有の形をもつた独立の結晶に変る傾向がある。(Fig. 9 参照) ヘマタイトの結合した結晶の網目の代りに、ヘマタイトやマグネタイトの離れた結晶を slag で結合させる結果、ペレットの強度は低下する。

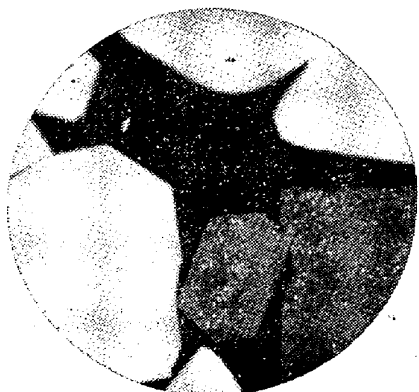


Fig. 9 Idiomorphic grains of magnetite (grey) and subhedral grains of hematite (light) in a lime-bearing pellet fired at 1400°C.  $\times 1770$ . (1/2 Contracted) (Cooke and Stowasser)

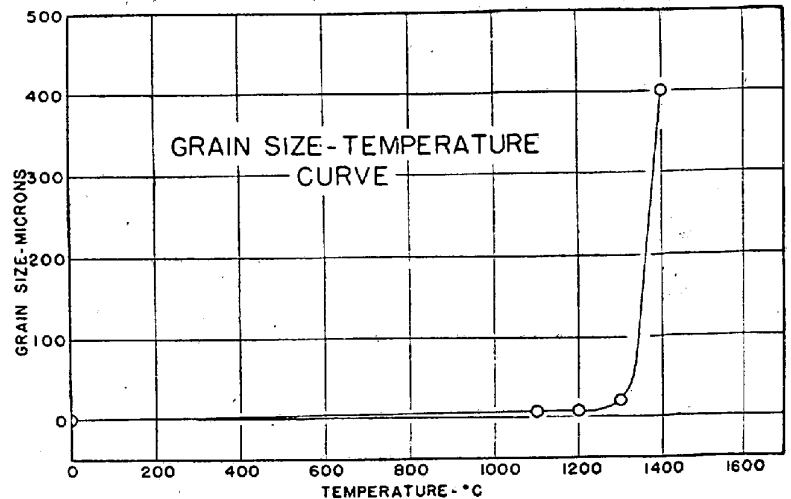


Fig. 10 The effect of firing temperature on the grain size of ferric oxide. (Cooke and Stowasser)

### ヘマタイトの結合

ヘマタイト結合はマグネタイト精鉱の結合に重要な役割を演じている。ヘマタイト精鉱或いは粉のヘマタイトの結合は、異つたもつと困難な問題である。

Cooke と Stowasser<sup>18)</sup> は高純度のヘマタイト (99.704% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) より作られたペレットの結晶粒度は 1300 ~ 1400°C, 30mn の加熱で急速に成長する事を見出した。Fig. 10 にみられる様に、結晶粒度は 1300°C での 20 micron から 1400°C の 400micron に増加する。それ故に純粋なヘマタイトは 1300°C 以下の温度では、僅かしか再結晶の傾向を示さないが、この温度以上では急速に再結晶や結晶の成長が行われる事は明らかである。

Ridgeon, Cohen, Lang<sup>19)</sup> は 66% Fe, 4% SiO<sub>2</sub>, 0.6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Sierra Leone 精鉱のペレタイジングの広範囲な研究実験を行つた。彼等の初期の研究に於いて、之等の精鉱はペレタイジングの前に、50% が 200 mesh 篩を通過する迄再粉砕しなければならない事を知つた。これは約 80% が -100mesh に相当する。この再粉砕が無いと、ペレタイジングは遅く且つ困難である。1270°C 迄加熱した後、1 in ペレットは僅か 300g の破砕強度しかなかった。之は空気中で乾燥したペレットよりも弱かつた。然し、1290°C に加熱し、ペレットの表面がこの温度に達するや否や加熱用炭素抵抗炉の電流を切つた後では、ペレットは 1/2 t の荷重に耐え、50ft の繰返し落下の後に尙残存した。20°C の温度変化に於ける強度の 1600 倍もの増加は、注目すべきことである。Ridgeon と彼の同僚は、ペレットは完全に酸化しており、slag の生成が無いのであるから、この急速の固化

と強度の増加の原因を熱的の再結晶に帰した。

ヘマタイトペレットが 1270°C 以下の温度で強度が低いという事の為に、Ridgeon とその同僚達は種々の添加剤の影響を研究する結果となつた。試験されたいくつかの添加剤の中  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  が最も実際的である事が証明された。(Table 3 参照) 化学的に純粋な  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  には

Table 3 Effect of Additives on Strength of Hematite Pellets.

(Ridgeon, Cohen and Lang)

Additive	Solution Strength Percent	Crushing Strength 1-in. Pellets		
		Green Grams	Dried Rapidly Grams	Fired at 1300°C lb
None	—	1000	300	1500
NaOH	2	1150	5400	2500
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3	1200	4600	3000
$\text{K}_2\text{CO}_3$	3	750	1500	—
$\text{CaCl}_2$	3	800	2000	2000
$\text{MgCl}_2$	3	1300	4000	700
$\text{MgSO}_4$	3	750	2700	—

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  の添加が有効であつて遊離  $\text{SiO}_2$  の存在は不必要である。比較的低い温度での Sodium ferrite の生成は乾燥強度を増加する事を示している。乾燥強度に及ぼす一般的な塩類の影響は、次々と脱水がすすむにつれて、結晶性水和物が出来て小さな結晶間をつなぎ合わせる組織となることに帰せされる。Ban と Erck<sup>20)</sup> は Specular-hematite の浮選精鉱より成る 28mm のペレットの強度は 1100°C の焼成温度迄、非常にゆつくり増加する事を見出した。ペレットをシャフトペレタイジング炉内の加熱速度に合せて、グローバーの燃焼管状炉の 5 つの区分を移動させた。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  のモル当り  $\text{O}_2$  1.23mole に相当する空気換言すれば  $\text{O}_2$  15.3% のガスをペレットの 1lb 当り 1.8lb の割合で加熱中ペレットの上を通した。ペントナイトはポーリングを助け生及び乾燥強度を上昇し、時には焼成強度をも増大させた。従つて 0.5% のペントナイトを、試験されるペレット混合原料中に加えた。

浮選精鉱へ 2.5% の石灰石を添加すると、1100°C 以上に焼成されたペレットの強度に有効な影響を与えた。焼成中の煨焼に依つて、ペレット中 CaO 量は 1.25% となつた。他の研究者の経験と一致して、ヘマタイトペレットの強度、特に石灰を含むペレットの強度は 1100°C と 1300°C の間で急速に増加した。石灰の入つたペレットは 1100°C で 130lb から、1300°C で 1800lb 迄強度が上昇した。つまり 200°C で 14 倍増加した。一方、石灰の入らないペレットの強度は 1100°C の 140lb から 1300°C の僅か 570 lb への増加に過ぎなかつた。0.5% の硼砂、1.25% CaO

を含んだペレットは、添加剤のないペレットの粗い結晶破面と対照して、滑らかな貝殻状の破面を呈した。

Ban と Erck は 径 16in 長さ 6ft の円筒を回転しその内でのペレット相互間のこすり合ひで発生した -65 mesh の粉の量に依つて耐摩耗性を測定した。1000g 即ち約 35 ケのペレットを装入し、24rpm の回転速度で 200 回、回転した後 65mesh 篩で篩分けた。石灰の入つたペレットからは -65mesh 粉の発生量 1.2% に対し、石灰の入らないペレットからの発生量は 4.0% であつた。この事でも示される様に石灰石の添加は耐摩耗性に対して顕著な影響があつた。取扱いや積出中の破損に耐える性質は、35 ケのペレットよりなる 1 ロットを 33・33ft の高さから鉄板上に落下する事に依つて測定した。連続 3 回の落下後、石灰を含んだペレットの約 52% は 1mesh 篩上に残存した。之に対し石灰を含まぬペレットは僅か 2.9% しか残らなかつた。落下試験後の石灰含有ペレットの平均粒度は元の粒度の 59.0% で、之に比して石灰の入らぬペレットは 27.5% であつた。平均粒度を計算する為には、落下試験後に粒度を篩分た。

### 石炭の添加の影響

Ban と Erck は人工のヘマタイトより作られたペレットへ二つの方法で石炭を添加した。石炭は精鉱 t 当り 10lb 及び 30lb に相当する量をペレットの内部に混入した。又、人工ヘマタイト t 当り 40lb の割合で、焼成前に生ボールの外面にくつつけた。生ボールの中に初めから 0.5% の石炭を混じて作つたペレットは、同じ方法で 1.5% の石炭を混ぜて作つたペレットよりもいくらか強い。然しながら 2% の石炭を外面に、付着させた生ボールを焼成したペレットは内部に 1.5% の石炭を混じたペレットよりもいくらか強い。ペレットの内部でおこる石炭に依るヘマタイトの還元は、高温のペレタイジング温度で還元及び収縮に依つて中空になる等の欠陥を起すと結論された。或る場合には再酸化が起るが一般に石炭を含んだペレットの組織や強度は満足すべきものではない。

Ridgeon とその同僚達は、酸化性条件に保たれているペレットの表面部を除いて、内部では石炭のためヘマタイトをマグネタイトに還元する傾向にある事を見出した。然しながら、若しも火床で粉鉱が詰まつた部分の様子に空気の分布が不均一ならば、普通存在しているヘマタイトの殻はマグネタイトに還元され、Slag が生成されてペレットは互にくつついでしまう。このペレットの附着

が起ると装入物が低下しなくなるので、シャフト炉内のヘマタイト或いはマグネタイトペレットの硬化に重大な障害をもたらす。甚しい場合は、焼固つた装入物が炉から取除かれ新しくスタートする迄、操業が止められる。之等の研究者達は、又、内部の石炭は酸化した殻と還元した中心より成る二重構造を作る事を知つた。その様なペレットは、一般にヘマタイト結合のペレット程強くはなく、更に還元がより困難である。

### 移動火床上における マグネタイトペレットの硬化

Allis-Chalmers Manufacturing Co. の研究部は下向通気移動火床 (downdraft moving grate) に依るペレットの硬化焼成を数年間研究して来た。更に、最近では Arthur G. McKee Co. と Allis-Chalmers Co. は Stowasser<sup>21)</sup> その他の人々が発表した下向通気式中間試験工場の建設及び操業の協同実験を行つて来た。その他比較的最近の発達として Minnesota Mines Experiment Station と Cleveland-Cliffs Iron Co. はペレットを硬化する上向通気移動火床 (updraft moving grate) の可能性を研究している。

生ボールを移動火床上で焼成するときも、シャフト

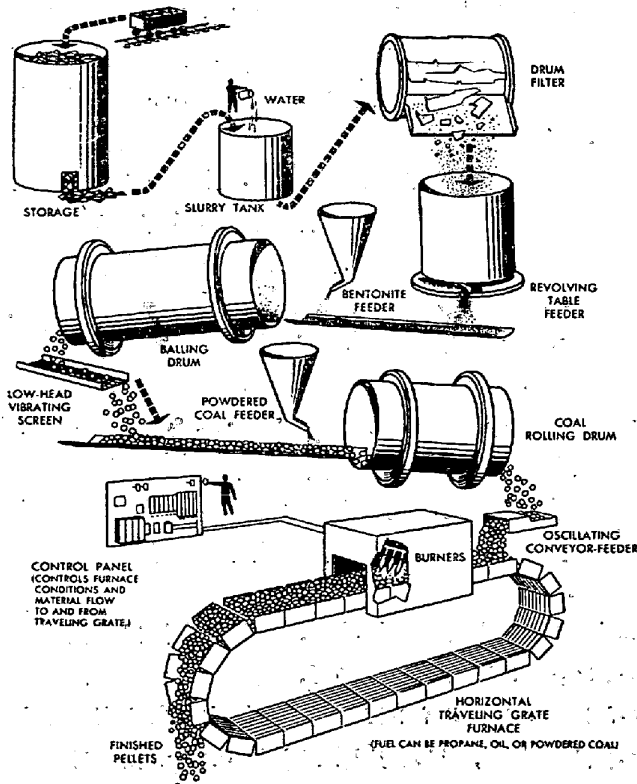


Fig. 11 Diagrammatic flow sheet of the hardening of pellets on a traveling grate.

炉で行う場合も、焼成に至る迄のボーリング作業及び管理は同様である。(Fig. 11 参照) シャフト炉で焼成する場合のボールの大きさ  $3/4$ in に対して、移動火床上で焼成する場合は  $3/8 \sim 5/8$ in の大きさを保つ様に調節する。ボールが小さければ小さい程、より容易に加熱及び硬化が行われる。この事は移動火床の比較的浅い火床の為に有利である。移動火床上で硬化すべき整粒されたボールに石炭とか固体燃料を外側へ添加する為に第二のボーリングドラムを用いる。移動火床によるペレタイジングの珍しい特色は、ペレタイジング法に使う為に下向或いは上向通気焼結機の構造とか操業を改良するという点に集中される。焼結と同様に、装入物は約 15in の深さまでグレート上に堆積される。

$3/8 \sim 1/2$ in の径に良く整粒されたボールの床は、ガス流の顕熱を吸収する為によい媒介となる。ボールの床が点火に先つて乾燥されていないと、燃焼ガス生成分の顕熱は急速に吸収され、床の下の部分は露点以下となつてしまう。床の上部からの水分は凝縮し、ペレットは軟化し、柔軟に変形し、その為透過性の悪い強度の低い層を作る。

これらの状態を防ぐ為に、点火前にペレットを乾燥する必要がある。乾燥はペレットがグレートに装入されるや直ちに、上向通気の風函で暖かい空気を送る事に依つて為される。この空気は移動グレートの排出側に進むにつれてペレットが冷却する間に熱交換により暖められる。補充の熱は補助バーナーから供給される。

設計の詳細は得られないが、移動グレート炉は、前進するにつれて、ペレットの床の乾燥、予熱、最終的の点火を行う様に作られていることは云い得る。固体燃料の燃焼につれて、燃焼帯は 1 分間 1in の速度で下に移動する。

全熱量の約 60% は生ボールの表面とか内部に含まれる固体燃料の燃焼から生じる。残りの熱の 40% はマグネタイトのヘマタイトへの酸化に依つて、ペレットの内部に発生する。燃焼帯がグレートに達した後は、ペレットは空冷されて個々のペレットとして排出される。(Fig. 12 参照)

ペレットの冷却に噴水を用いるも良く、又ゴミの立たぬ様適当に湿らせることもある。

中間試験工場の操業結果の記述の中で、Stowasser<sup>22)</sup> はマグネタイトペレットの焼成には、成品 t. 当り 700,000 ~ 800,000 BTU の熱量が必要と述べている。プロパンガスを用いる時は、燃料の約 1/3 がバーナーで消費され、他の 2/3 はペレット層の固体燃料から来る。良好な操業を行えば、ペレットは硬く且つ強い。試験グレートから出

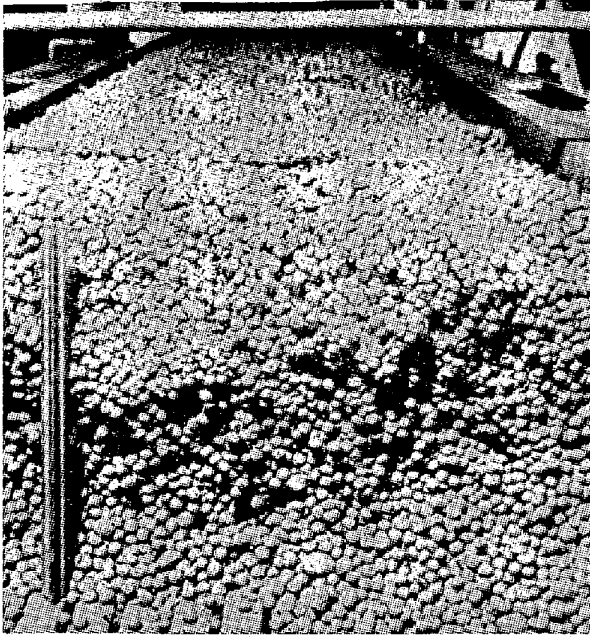


Fig. 12 Burned pellets discharging from traveling grate, (Stowasser)

たペレットの 90~96% は 3/8in. 以上の大きさであった。+3/8in. のペレット 50lb を ASTM のヨークスドラムで 24rpm 100 回転した後では、約 10% が 10mesh 以下であった。

ペレットの下向通気式硬化法の完全な規模の工場は、Reserve Mining Co. に依つて Minnesota 州 Babbitt に、去る 2 月より操業されている。この移動グレートは 6 ft の巾で、略々 200ft. の長さ、日産約 1000t の能力をもっている。以前 4 つのシャフト炉でペレタイジングされた Taconite 精鉱が、この下向通気式移動グレートで日常的にペレタイジングされている。

Reserve Mining Co. に依つて Minnesota の Silver Bay に建設中の新しい Taconite 工場は、各々日産 1700 t のペレットを生産する能力の 6 基の移動グレートを持っている。第 7 番目の設備も含めて、塊成化工場は 19 億ドルのコストとなる。グレートは巾 6ft 有効移動全長 168ft である。排出後にペレットを冷却する為に、長さを減少した。

Cleveland-Cliffs Iron Co. と Minnesota 大学の鉱山研究所は、ペレットの硬化の為の上向通気移動グレートの研究して来た。ヘマタイトペレットを硬化する為の上向通気式の設備が、数年以内に建設されるようである。ペレットを硬化する為の移動グレート法の提案者は次の様に優れた長所を指摘している。

- ① 操業が単純である。
- ② 操業者が操業を観察し、検査出来るので管理が容易である。

③ 硬化中ペレットは比較的浅い床に安定して置かれ、余り荷重を受けない。これは破損を最小にする。

④ 出来上りのペレットは破損する事なく容易に排出される。

⑤ 熱交換に依る熱の回収は移動グレートの熱効率を改善する。

移動グレートの欠点は次の通りである。

① グレートバーの変形に依る補修費の高い事。

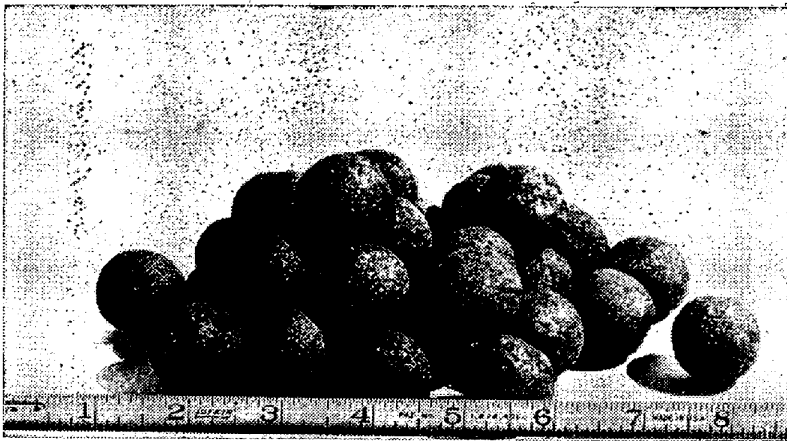
② シャフト炉に比較して燃料コストが高い。

③ 過剰の空気に依つてグレートの側面のペレットの性質が劣る。

シャフト炉と移動グレートとを比較した価値評価に関連して、Reserve Mining Co. が Babbitt の中間試験工場に於いて、4 つのシャフト炉の代りに移動グレートを用いた事を思い出すべきである。更に、前にも述べた様に Silver Bay に目下建設中の大規模な工場で、ペレットの硬化に移動グレート式を用いる計画である。この工場は 1955 年の後半には操業に入る予定である。一方、Erie Mining Co. は 1948 年以來その中間試験工場で、Taconite ペレットの硬化にシャフト炉を用い続けている。尙公表されていないが Erie Mining Co. は自身の設計でシャフト炉を用いる 750 万 t の工場を 1957 年の初めには操業に入れる様に計画している様である。シャフト炉は移動グレートよりも熱的には効果的であるが、加熱が不均一になり、装入物がくつつき易い。炉の設計を変更し、初期の装置では不可能であった管理が進められて、シャフト炉の難点が打破られるかもしれない。いずれにしろ、ペレットの硬化へのシャフト炉と移動グレートとの相対的価値評価が正しく為される迄には、大規模工場に於ける数年間の操業が必要であろう。

#### 高炉の装入物としてのペレット対鉄鉱石

高炉でのペレットの成績に関するデータは公表されていない。原料としては要するにペレットにおきかえられるべき鉄石の品質によつてペレット化による改善の程度が定まる。Taconite ペレットは平均約 50% Fe の Lake Superior 鉄鉱石に比較して 62~64% Fe である。平均品質の Lake Superior 鉄石の 100% より成る高炉の配合を半分 63% Fe, 9% SiO<sub>2</sub>, 0.7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のペレットに代えると、鉄滓量は銑鉄 t 当り約 200lb 減少する。平均品質の Lake Superior 鉄石は 50% Fe, 10% SiO<sub>2</sub>, 2.0% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と仮定する。この鉄滓量の減少から、銑鉄 t 当り 80~100lb のヨークスの節約は当然期待される。更に、装入物中の 50% を占める均一な粒度のペレットによる良好な熱交換の



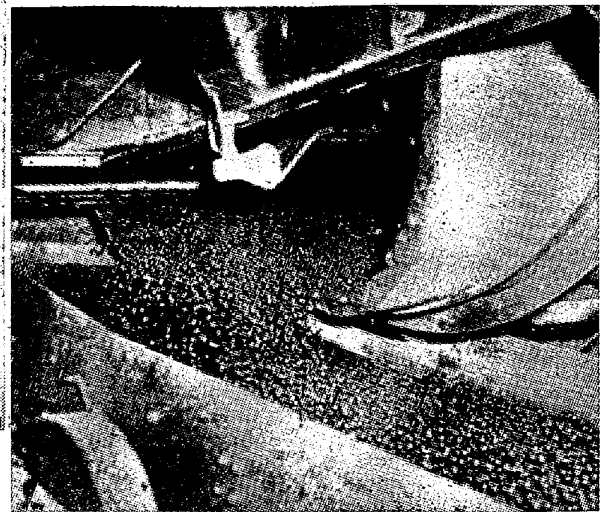
Hematite pellets containing 2.50 percent of limestone and fired at 1300°C. (Ban)

ためにコークスの節約が期待される。鉄石以上に良好なペレットの還元性と装入物中のガス流の均一性は、ソリューションロスを減少する。良好な熱伝導とソリューションロスの減少との両方に依るコークスの節約は、鉄滓量の減少に依るコークスの節約と略々等しいだろう。それ故に、総計 160~200lb 即ち 10~12% のコークスの節約は、100% の代表的 Lake Superior 鉄石の半分が 63% Fe のペレットに代つた時に、可能と思われる。大部分の高炉の配合には、いくらか焼結鉄と処理鉄石を含んでいるので、コークスの節約は幾分これ以下かもしれない。

出鉄量はペレットが Masabi 鉄に代つた時に、二つの主要な理由で、増加するのであろう。コークス消費量の減少は、風量が一定なら、自動的に出鉄量の増加となる。第二にペレットを含む装入物が炉ガスに対して透過性が良好なことから、風量は増加出来るだろう。簡単にいえば、平均品質の Lake Superior 鉄石 100% の配合に対し、半分の物理的性質の良いペレットで代用した時に、日々の出鉄量 15~20% の増加とコークス比 10~12% の減少が期待される。

### 結 語

Taconite や Jasper の様な貧鉄からの精鉄は、運搬とか、高炉に使用するに余りにも細か過ぎる。マグネタイト質 Taconite について Minnesota 大学鉄山研究所に於いて研究されたペレタイジング法は、粒度、強度、気孔率の均一な優れた物理的性質の成品を作る。ペレットの結合はマグネタイトの結晶粒成長、ヘマタイトの結晶粒成長、粒間に侵入した slag に依つて行われる。加熱炉の普通の雰囲気ではマグネタイトは、比較的低温度でヘマタイトに酸化を始めるので、マグネタイトのボールは湿つたヘマタイトのボールよりも容易に硬化される。更



Balls being discharged from the baling drum and falling onto a vibrating screen.

に、この新しく出来たヘマタイトの鉄原子は普通の鉄原子より動きやすく、したかつて成長しやすいものである。新しく出来たヘマタイトの結晶粒成長に依る結合の代りに、slag に依る結合が行われると、ペレットの強度は普通減少する。

添加剤の価値についての意見の極端な差は、ペレットされる鉄石の差に依るかもしれない。ベントナイトや硼砂の様な添加剤はマグネタイトペレットの乾燥強度や焼成強度を改善することから實際上価値がある。総べての熱を外部から供給することが必要であるからヘマタイトはマグネタイトより、ペレタイジング困難であるが石灰石や  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  はこの場合の添加剤として有望である。最初の鉄石がマグネタイトの時は、全熱量の約 1/3 はマグネタイトのヘマタイトへの酸化から出される。ペレットの内部でのこの発熱は著しい長所である。ヘマタイトをペレットする時の難点は、再結晶や結晶粒成長の起る 1300°C の温度になる迄はペレットは比較的弱いという事である。ペレットはシャフト炉か移動グレートをもつた下向或いは上向通気式焼結機で硬化される。移動グレート上のペレット層で 1300°C 以上の温度が容易に得られるから、この様な機械はヘマタイトのペレタイジングに採用される様に思われる。移動グレートに於ける硬化は急速におこるので、硬化したペレットはシャフト炉に於いて硬化したペレットより小さい。

平均品質の Lake Superior 鉄石よりなる装入物の半分のペレットで代えた時に、10~12% の燃料の節約と日産 15~20% の増加が期待される。燃料の節約は、鉄滓の減少、熱伝達の良好、ソリューションロスの減少から来る。コークス比の減少と、装入物の物理的性質の改善に依る送風割合の上昇とは出鉄量増加に貢献する。

## 文 献

- 1) John W. Gruner: "A Realistic Look at Taconite Estimates." Mining Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 287~288. March 1954.
- 2) A. H. Hubbell: "Work on Taconite Now Heads Towards Commercial Goal." Engineering and Mining Journal, Vol. 153, No. 7, p. 72. July 1952.
- 3) Robert Cochran: "New Plant Successfully Floats Michigan Jasper." Engineering and Mining Journal, Vol. 155, No. 8, p. 100. August. 1954.
- 4) C. V. Firth: "Agglomeration of Fine Iron Ore." American Institute of Mining and Metallurgical Engineers of Blast Furnace, Coke Oven, and Raw Materials Conference, Vol. 4, pp. 46~49. 1944.
- 5) E. W. Davis and H. H. Wade: "Agglomeration of Iron Ore by the Pelletizing Process." University of Minnesota, Institute of Technology Information Circular No. 6. 1951.
- 6) T. L. Joseph and Gust Bitsianes: "Some Comparisons Between Iron Ore, Sinter, and Nodule as Blast-Furnace Feed." American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Process of Blast Furnace, Coke Oven, and Raw Materials Conference, Vol. 4, pp. 70~86. 1944.
- 7) K. C. McCutcheon, W. E. Marshall and H. C. Barnes: "Procedures Used in Quenching and Digging Out a Blast Furnace and Some Results." American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Proceedings of Blast Furnace, Coke Oven, and Raw Materials Conference, Vol. 10, pp. 200~218. 1951.
- 8) Magnus Tigerschiöld: "Aspects on Pelletizing of Iron Ore Concentrates." Journal Iron and Steel Institute, London, Vol. 177, pp. 13~23. May 1954.
- 9) See ref. 5.
- 10) S. R. B. Cooke and T. E. Ban: "Balling and Pelletizing of Iron Ore." Ban's M. S. Thesis, University of Minnesota.
- 11) See ref. 8.
- 12) T. E. Ban and L. J. Erck: "Laboratory Procedures for Determining the Pelletizing Characteristics of Iron Ore Concentrates." Transactions American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol. 196, pp. 803~811. Mining Engineering, Vol. 5, No. 8. August 1953.
- 13) See ref. 8. 14) See ref. 12. 15) See ref. 8.
- 16) John D. Zetterstrom: "Oxidation of Magnetite Concentrates." U. S. Bureau of Mines. Rep. of Invest. 4728. 1950.
- 17) S. R. B. Cooke and T. R. Ban: "Microstructures in Iron Ore Pellets." Transactions American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol. 193, pp. 1053~1058; Mining Engineering, Vol. 4. Nov. 1952.
- 18) S. R. B. Cooke and W. F. Stowasser, Jr.: "The Effect of Heat Treatment and Certain Additives on the Strength of Fired Magnetite Pellets." Transactions American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol. 193, pp. 1223 to 1230. 1952; Mining Engineering, Vol. 4. Dec. 1954.
- 19) J. M. Ridgeon, Cohen, and Lang: "The Development of A Pelletizing Process for Fine Iron Ore." Journal Iron and Steel Institute, London, Vol. 177, pp. 43~63. May 1954. 20) See ref. 12.
- 21) W. F. Stowasser: "An Agglomeration Process for Iron Ore Concentrates." Unpublished report, "New Process for Heat Hardening Taconite Pellets." Blast Furnace and Steel Plant, Vol. 42, No. 11, pp. 1299~1302. Nov. 1954. (Anon)  
"Down-Draft Pelletizing Is Chosen for Reserves Taconite Project." Engineering and Mining Journal, Vol. 155, No. 10, pp. 96~98. October 1954. (Anon)
- 22) See ref. 21.

本稿の原文御希望の方は協会へ御申出で下さい。  
タイプ刷一部実費 200 円でお頒ち致します(別に  
送料 12 円)