

Fig. 5. Results of X-ray diffraction analysis for sandy iron ore from Tanegashima.

前記 4 銘柄砂鉄の精鉱。尾鉱を X 線解析し、それぞれを構成する砂鉄の鉱物性状を検討した。Fig. 5 は種子島産砂鉄に関する解析の結果を示しているが、精鉱の回折線は磁鉄鉱の回折線と近似している。尾鉱の回折線は、hematite, ilmenite の中間の波長を示すが、この結果は、尾鉱を構成する鉱物が、hematite と ilmenite の中間的な固溶体であることを示すものと思われる。

3.4 顕微鏡観察

前記 4 銘柄砂鉄の熱磁選精鉱は、大部分均一な磁鉄鉱粒子として識別される。一部に認められる格子状共析組織は、magnetite のマトリックス中に析出するイルミナイトである。この精鉱粒子を酸素雰囲気中で熱処理すると、magnetite の {111}, {100} に微細な赤鉄鉱の格子状組織が析出する。

尾鉱粒子は、精鉱のそれとほぼ同一の色調を有し、hematite としての確認は困難であるが、弱い偏光性を有することから、hematite 質または、それに近い鉱物であると推定される。

Pouillard²⁾は $Fe_2O_3-FeO-TiO_2$ 固溶系列中に 2 つの中間鉱物が存在するとし、和田氏³⁾は強磁性体としての砂鉄はイルミナイト側の中間鉱物、 $2(FeO \cdot TiO_2) \cdot Fe_2O_3$ の近傍において発生することを認めているが、もしこの中間鉱物が存在するとすれば、尾鉱を中性雰囲気中で熱処理すると、格子状の共析組織が析出するはずである。熱処理の結果では何ら組織上の変化は認められず、 $FeO \cdot TiO_2-Fe_2O_3$ 固溶系列中には、むしろ全面的な固溶系列が存在する可能性が強いように思われる。

4. 結 言

熱磁選に関する一連の試験の結果から、パイロットプラント操業の場合でも、机上実験の結果を十分再現できる見通しを得、基礎試験の結果からは次のような結論を得た。

(1) 精鉱を構成する粒子は磁鉄鉱質鉱物であつて、Ti 分を $FeO \cdot TiO_2$, $2FeO \cdot TiO_2$ の形で固溶するものである。

精鉱を構成する鉱物は Fe_3O_4 質のものであり、TiO₂ を $FeO \cdot TiO_2$, $2FeO \cdot TiO_2$ の形で少量含有するものであることが確認されたがこれは従来の報告とも一致して

いる。平社³⁾氏などは Fe_3O_4 (magnetite) と $2FeO \cdot TiO_2$ (ulvöspinel) のみの全面にわたる均一固溶体を想定しているが、砂鉄鉱物の生成条件などを考慮すれば、 $FeO \cdot TiO_2$ (ilmenite), $2FeO \cdot TiO_2$ (ulvöspinel) のいずれもが、 Fe_3O_4 と均一な固溶体を作るとみるのが自然である。

(2) 尾鉱は、 $Fe_2O_3-FeO \cdot TiO_2$ 固溶系列中の鉱物である。

尾鉱は化学分析、X 線回折の結果から、 $Fe_2O_3-FeO \cdot TiO_2$ 系列中の固溶体と確認されるが、この種砂鉄鉱物の磁気発生機構は従来、いろいろ論議的となつて

いる。弱磁性体である α -hematite と ilmenite の中間固溶体中の強磁性発生機構に関しては、和田氏³⁾は Pouillard²⁾ のいう中間鉱物が関与するといった考察を進めているが、 $Fe_3O_4 \leftrightarrow \gamma Fe_2O_3 \leftrightarrow \alpha Fe_2O_3$ 間の格子の変換が本質的に容易であること、ならびに、顕微鏡観察の結果では偏光性がきわめて弱いことなどから、この種砂鉄の強磁性発生機構は、 γ -hematite-ilmenite 間またはそれに類似のものに求め得るとも考えられる。

文 献

- 1) T. NAGATA: Rock magnetism (1953)
- 2) E. POUILLARD: Ann. de. Chimie, 5 (1950)
- 3) 平社敬之助他: $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ 系人工砂鉄に関する研究, 日本鉱業会誌, 847 号
- 4) 和田正美他: 含チタン砂鉄の選鉱学的研究, 第 6 報, 東北大学選研彙報, 13 (1957) 1

(32) 還元処理ロータリーキルンの改良法について

(ロータリーキルンによる砂鉄予備還元の研究一Ⅷ)

東北電化工業, 大間々工場

○荒川 秀雄

On the Improvement upon the Reduction by Rotary Kiln.

(Study on the pre-reduction of iron sand with a rotary kiln.—Ⅷ)

Hideo ARAKAWA.

1. 結 言

本連報^{1)~7)}の前報⁷⁾で還元キルンの障害現象となるダムリングの粘着防止法を報告したので、本報では還元キルンに関する熱経済上の改善策について検討する。とくに熱効率改善に効果の大きい空気吹込み法の設計方法を述べ、実験結果から本法の効果を検討し、さらに他の改善法の可能性を提示する。

2. 管体途中の空気導入

固体還元剤を鉱石に配合加熱するキルン還元方式は還元反応が実質的に進行する温度帯域で、平衡上 CO が高濃度となり、原則的には直接還元となる²⁾。このとき発

生ずる CO は原料層上で炉内雰囲気と接して燃焼するが、炉の奥の還元初期、中期帯域では炉内雰囲気の酸素が不足し、未燃のまま炉の排出ガスに混入する。また配合還元剤が揮発分をもつ炭材である場合は、揮発分の分解温度と鉄石の還元温度に差があるので、分解可燃ガスは炉の低温側に発生して還元反応にあずからず、同様に未燃状態で排出される。炉の全域にわたつてこれらの可燃ガスを燃焼するだけの空気を、炉の排出側から供給すると排出端付近は著しく酸化性となり、還元原料の再酸化を起しダムリングの粘着が起る。したがつて安定な炉況のキルン廃ガスには、必ずある量の未燃損失が含まれる。前報⁶⁾の熱精算の項で示したように、ふつうキルン廃ガス中には CO は 4~7% 含まれ、その未燃損失熱は海綿鉄 t 当り $200\sim 300 \times 10^3 \text{ kcal}$ と比較的大きな値であるが、反面排出ガスとしての発熱量は $150\sim 200 \text{ kcal/m}^3$ で排出後回収するにはあまりに低価値である。炉内温度分布を改善する意味でも、この未燃分は炉内で回収することが望ましい。キルン炉体途中に空気を導入して損失熱の回収を計る思想は相当古く、1940年代に JOHANNSEN⁶⁾ によつて提唱され、R-N 法⁷⁾ などで改良適用されている。これらの方法は炉内圧を大気圧より負に保ち、炉管体を貫通するダクトを通じて空気を吸引導入することで行なわれている。しかし本法は炉尻の吸引圧あるいは炉内ガスの見掛比重などの変化、とくに発生ダストが炉内ガスの比重を大きく変化するので導入空気量が影響をうけ管理が困難となる。また高温帯への空気導入には吹込みダクトの耐熱性に関してその材質が難点となり制約をうける。これらの障害をさけるため、炉体鉄皮にブローを固定設備し、強制吹込を行なう方法を施行し良好結果を得たので報告する。

3. 吹込の条件

ふつう操業のキルン廃ガス中の CO は平均 5% である。前報⁶⁾ で示した熱精算結果の例では、水分を除いた廃ガス量は $1742 \text{ Nm}^3/\text{t-sponge}$ で、その組成は CO_2 15.8%, CO 5.3%, O_2 0.3%, H_2 1.8%, N_2 72.7% であるので、可燃分は CO 92.4 Nm^3 , H_2 $31.3 \text{ Nm}^3/\text{t-sp}$ となり、その燃焼熱は $375 \times 10^3 \text{ kcal/t-sp}$ で全使用熱の 15% に相当する。この未燃分を燃焼するのに必要な空気量は $295 \text{ Nm}^3/\text{t-sp}$ となる。つぎに吹込地点の決定には、排出ガスの未燃分が完全燃焼し、また燃焼後の CO_2 ガスが原料中の炭剤と carbon solution 反応を起さないことが望ましい条件となる。可燃ガスの発火限界に関しては Le CHETELIER の法則が知られているが、キルン排出ガスは不活性ガスの混合率が大きく、燃焼開始温度の推定が困難である。そこで実動炉の炉尻から抜き取つた廃ガス現物に空気を混合して、一定温度の炉心に挿入した燃焼管に流し、通過後のガス成分を分析し燃焼率を調査した。Fig. 1 は CO_2 17%, O_2 0.4%, CO 5.4% の廃ガス 1 容に 0.2 容の空気を混合し、燃焼率を測定した結果を示す。この場合燃焼は 500°C より起り、 650°C 以上であれば完全に燃焼することが解る。この結果から炉内空気吹込地点は炉内雰囲気温度が 700°C 以上の帯域が適当となる。Fig. 2 は 1号キルン (56 m) の平均炉内原料温度とガス温度の関係を示したもので、炉長 40~80% の地帯の原料温度 T_M とガ

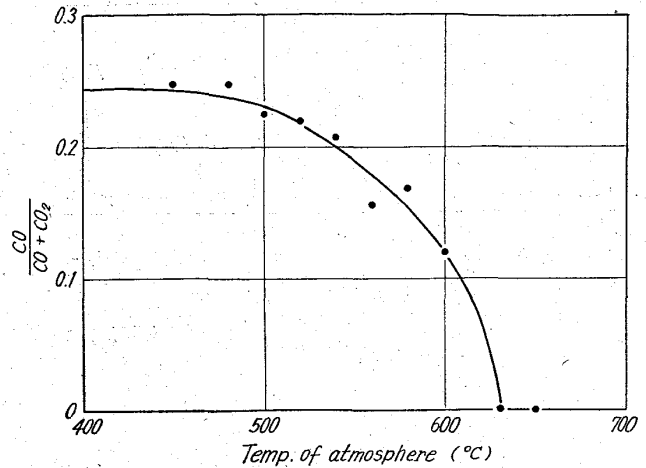


Fig. 1. The relation between temperature and combustion ratio of exhaust gas from operation kiln.

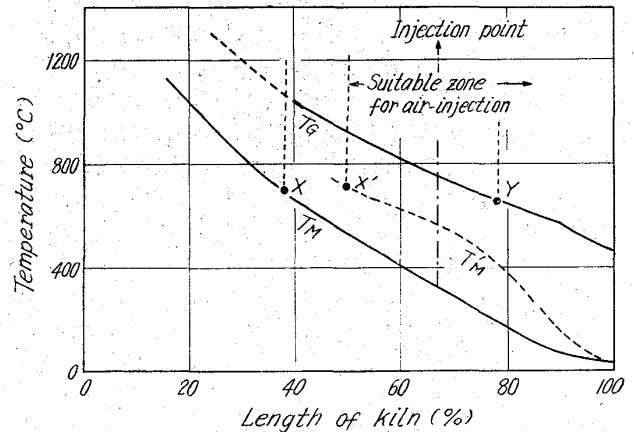


Fig. 2. Distributions of temperatures of material bed and atmospheric gas in the kiln under air injection method.

ス温度 T_G の間には $350\sim 400^\circ\text{C}$ の差がある。上に述べた吹込みの 2 条件を見掛上満足する地帯は図中 X-Y の地域となる。空気 1 Nm^3 が燃焼しうる CO ガス量は 0.42 Nm^3 で、その燃焼熱は 1268 kcal である。キルンに空気吹込燃焼を行なつたときのガス排出顕熱増加は吹込みから生ずる N_2 と、未燃 CO と同容量発生する CO_2 との顕熱差で、排出温度 T_E が 500°C 付近のときほぼ $0.3 T_E \text{ kcal/Nm}^3 \text{ Air}$ の値である。今排出温度が空気吹込の前後変化なく 500°C 一定と仮定すると、理論回収熱量は $1120 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ Air}$ である。キルンの海綿鉄生産量が 12.1 t/hr のとき 36 Nm^3 の突気吹込を行なうと、海綿鉄 t 当りの回収熱は $203 \times 10^3 \text{ kcal}$ となる。キルン原料の平均比熱を 0.23 とし、吹込地点までに原料が回収熱を全量吸収したとすると、同地点で原料温度は約 600°C 上昇することとなる。実際には排出温度の数 10 度の上昇、管体損失の増加、未燃 CO の 0.2% 程度の残留などがあるので、原料の温度上昇は $250\sim 300^\circ\text{C}$ となる。したがつてこの場合吹込後の適正吹込地帯は発生熱量に応じて炉の後方に移動し X' 地点が上限となる。実際炉の吹込実験地点は吹込ダクトの耐熱性を考慮

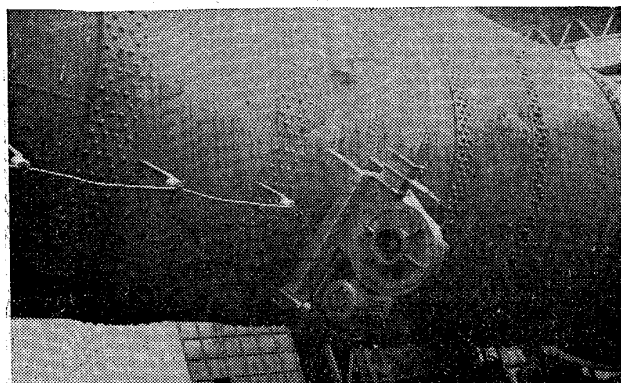


Photo. 1. Blower for air injection on the kiln shell.

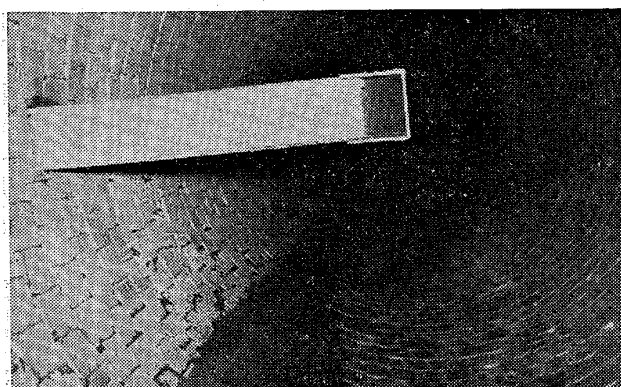


Photo. 2. Injection duct through kiln shell and lining.

して炉長 67% の地点を選定した。

4. 吹込設備

空気吹込の諸効果を調査するため 1 号キルン (3.6 m φ, 56 ml) に吹込設備を行なつた。吹込用ブロアは定格 32m³/min, 圧 220 mmAq, 駆動モーター 15 HP を使用し, 吹込ダクトは 13 Cr 製 12×18 cm の角型で吹出し方向は管体軸上排出側に向け行なつた。給電は管体に設けた 2 個のスリッピングを通じて行ない。1 相はローラーを介して管体に落した。稼働時モーターが停止すると, 吹込ダクトの焼損が起るので給電設備は保護回路を嚴重にした。Photo. 1, 2 にブロアと吹込ダクトの炉内部の設備状況を示した。休炉状態でダクト内の流速をピトー管で測定し, 絞り弁全開時流速 32m/sec を得た。このときの吹込量は 39m³/min となる。吹込によるダクトの冷却は有効であり, 全開時その温度は 200°C 程度であることを確めた。

5. 試験結果

前記設備は第 1 次試験として約 4 カ月無事故で運転され, 実績数値を得た。Table 1 は改善法を施行しない従来の運転法 9 カ月の平均実績と, 投炭法⁷⁾ (Tc) のみを施行した 6 カ月の平均実績, および投炭法と空気吹込み (Ia) を併用したときの 4 ケ月平均実績を諸項目で比較したものである。投炭法は粘着障害の防止を目的に行なわれるので熱消費面での改善はみられないが, 排出端の再酸化が有効に防止されるので, 排出成品中の残留炭を低下しても運転可能となり, リング粘着が無くなつたので稼働率, 生産性が向上した。これに反し空気吹込の熱的な効果は大きく, 重油原単位で 13%, 配合 FC 原単位で 16% の低下がみられ, 総使用熱から残留炭発熱量を差引いた消費熱量原単位は 6.3% 低下して 1,960×10³ kcal の値を示した。還元率 1% 当りの消費熱量では 10% の合理化数値が得られ 34×10³ kcal/t·sp'·DR% となつた。この成績で DR. 56% の海綿鉄を製造するときの熱量原単位は 2,120×10³ kcal から 1,910×10³ kcal に改善され 210×10³ kcal が回収されたこととなる。上に述べた 36 m³/min の空気吹込理論回収熱 203×10³ kcal よりわずかに大きな値である。吹込試験中の廃ガス分析から, 吹込空气中酸素の 10% 程度は未反応で排出されていることが解つているので, 未燃ガス損失が全量回収されたとは考えられない。むしろ前報⁸⁾の熱精算の項で述べたように, 排出ガス中に含有される微粒炭素の燃焼があつたと思われる。

管体鉄皮にブロアを固定し, 強制吹込を行なう方法は吹込量が確実で燃焼効率がよく, キルンの未燃損失回収には適切な方法であり, 吹込ダクトの冷却が確実で工学的な安全度が高いことが実証された。現在第 2 次試験として 150 m³/min の吹込を実施中で, 配合還元剤に一般炭を使用し, その揮発分燃焼熱を有効に回収し, 消費熱 30×10³ kcal/t.sp.DR.% を目標として実績数値の解析を行なつている。さらに海綿鉄製錬時の電炉製鉄電力原単位の低下を計る目的で, 石灰石を添加した自溶性半還元海綿鉄の製造を検討中である。従来のキルン操業法では石灰添加によつて炉内原料が低融点脈石をつくり粘着障害が起りやすく, また還元金属鉄が粒子周辺のみで連接発生して, 難還元性, 易発火性の危険が大きかつたが, 投炭法による再酸化防止はこの操業を安定にする効果がある。またキルンから発生するダストは従来回収後装入原料に配合処理されていたが, これをバーナーフレーム中に吹込み, 伝熱効率の改善とダストの有効回収を計る方法も併せ検討中である。

Table 1. Effects of throwing coal (Tc) and air injection (Ia) for kiln.

Operation	Product Sponge (%)			Consumption of material per t of sponge		Heat consumption	
	Residual carbon	Degree of reduction	Degree of agglomeration	Fuel oil (l)	FC in burden (kg)	Total × 10 ³ kcal/t, sp'	× 10 ³ kcal/%DR of sp'
Traditional operation	5.24	55.3	79.1	88.0	189.1	2,091	37.8
Under Tc method	3.06	55.5	76.1	81.8	180.0	2,093	37.7
Under Tc & Ia method	2.11	57.4	76.4	76.5	158.8	1,960	34.1

6. 結 言

還元ロータリーキルンの炉体にプロアを固定設備して空気を強制吹込する技術を確認し、第1次試験として56 mのキルンに36 m³/minの空気吹込を実施し、投炭法との併用で半還元海綿鉄 t 当り 210×10³ kcalの熱回収効果が得られ、還元率 56% の砂鉄海綿鉄を熱消費 1,910×10³ kcal/t·spong の成績で製造できた。投炭法と空気吹込法の採用で還元帯の延長、再酸化の防止が可能となり、ダムリングの粘着阻止、還元率の安定が計られ、操業は格段に容易となった。

文 献

- 1) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 423
- 2) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1241
- 3) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 297
- 4) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1340
- 5) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1342
- 6) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 319
- 7) 伊与田・荒川: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1639
- 8) F. JOHANNSEN: Jap. Pat. 17160 (1945)
- 9) R-N Co. Ltd: Jap. Pat. 昭 34-3756

622.788:6=2.341.1-492
(33) 石炭内臓ペレットの製造について

(砂鉄ペレットに関する研究—I)

東北大学選鉱製鉄研究所

工博 三本木 貢治

むつ製鉄

内山 尚志・○小林 隆

Production on the Pellet Including Coal.

(Studies on the iron sand pellet—I)

Dr. Koji SANBONGI, Takashi UCHIYAMA

and Takashi KOBAYASHI.

1. 結 言

近年砂鉄の製錬において設備の改善および工程の合理化が検討されている。本研究においては石炭内臓ペレットおよびコークスを密閉型電気炉上部に直結した小型シ

ャフト炉に装入し排ガスにより予熱予備還元する一連の操業方式を検討せんとするものである。

本ペレットは粉鉄に石炭、石灰を配合しセメントにて硬化させるものでシャフト炉までの搬送時および炉内充填時の圧力に耐える強度が必要となる。

本報告においては、(1) 砂鉄の粒度とペレットの性質、(2) 混錬時の原料水分、(3) 砂鉄の粒度と経日強度、(4) 砂鉄の種類と経日強度、(5) 季節的条件、(6) セメントの粉砕度の問題についてその結果をのべる。

2. 実験方法

ペレットは砂鉄精鉱および粉砕鉄を適度に配合して粒度を調節しこれに粉砕した石灰石、石炭を配合、混合し、セメントおよび水を添加して混錬したものを 600 mm φ×165 mm, 2P のデスクペレタイザに装入して水を添加しながら造粒した。砂鉄、石灰石、石炭の配合比はそれぞれ 80%, 5%, 15% である。また予備実験の結果から造粒条件は傾斜角度 50°, 回転数 15 r.p.m., 原料供給量 1.2~1.4 kg/min としセメントはクリンカーを粉砕したものを 5% 添加した。

使用原料の組成および粒度分布を Table 1 および Table 2 に示す。

3. 実験結果および考察

3-1 砂鉄の粒度とペレットの性質

粉砕砂鉄 A と砂鉄精鉱 B を 0~100% まで 10% ごとに変えて配合して粒径 14 mm に造粒しその造粒性、ペレットの気孔率、圧壊強度および 800°C で 10min 加熱した時の圧壊強度を調べた結果を Table 3 に示す。

粉砕砂鉄の 10% 配合までは造粒不可能で、20% で僅かに整形される程度で実用にならないが 30% 以上では造粒可能となり、圧壊強度および加熱強度は粉砕砂鉄配合量の増加につれ良好となる。一方気孔率も粉砕砂鉄配合量の増加とともに減少するが 70% において最小値が認められた。

3-2 混錬時の原料水分

デスクペレタイザ装入前の原料水分量は製造ペレットの強度に大きな影響をおよぼすのでその制御が重要となる。粉砕砂鉄 50%, 砂鉄精鉱 50% に配合して粒径 14 mm に造粒した結果を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より原料が粒化してからの滞留時間が長く、最も緻密に充填し、

Table 1. Chemical analysis of raw materials.

Raw materials	Composition (%)									
	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂	S	P
Iron sand A (Beach)	57.74	34.32	44.46	12.93	5.16	0.42	—	1.52	0.076	0.040
" B (Mountain)	56.72	26.72	51.40	11.00	2.00	—	—	6.00	0.020	0.045
" C (Terrace)	57.22	31.03	47.27	9.70	2.50	—	—	4.98	—	—
Limestone			0.32		0.45	0.70	52.40	4.04	Ig. loss 41.90	
Cement clinker			3.00		5.72	1.16	65.11	23.29	SO ₃ 0.18	
	Moist.	V. M	A	F. C						
Coal A	1.28	39.90	6.62	52.20						
Coal B	1.29	34.26	9.17	55.28						