

技 術 資 料

酸素製鉄製鋼法 (II)

森 永 孝 三*

Oxygen Process for Iron and Steel Making (II)

Kōzō Morinaga

VI. 純酸素上吹転炉製鋼法

塩基性転炉製鋼法は古くから西欧に発達しているが、材質が平炉鋼に劣るのでいろいろ改善が試みられていた。一方低 Si, P 銑を転炉で吹製する実験がドイツにおいて第2次大戦中に試みられたが、このような銑鉄を吹製するには熱量が不足していること、ならびに空気中の N_2 を減少させる必要のあることが判明した。

Austria では国内産鉄鉱石を原料とする銑鉄は高 Mn 低 Si で底吹転炉銑としては不適当で、さらに国内での屑鉄供給は不十分で北米に依存せざるを得なかつた。なおまた鉄鋼市場は薄板材を要求しているので低 N であることが必要であり、これらを解決するため Dr. Durrer の研究に基き Linz ついで Donawitz で実験が繰返えされ、L・D法が完成された^{(68)~(70)}。

1. L・D転炉操業法^{(71)~(73)}

上吹転炉工場では混銑炉を2基または3基の転炉が設備されるのが普通であるが、その配列には転炉を中心に前方に装入床、後方に造塊場のある Donawitz 型と、転炉と造塊場の間に装入床のある Linz 型とあるが、工場の位置、分塊工場との相対的な位置、熔銑、副厚料の搬入経路などによつて定まってくる。

転炉炉体は Fig. 12 のような半球形で従来のトーマス炉の操業とよく似ている。炉内に屑鉄が装入され、ついで

で熔銑が傾動した炉内に注入される。炉体を垂直に起して水冷の O_2 ランスが挿入され、吹製が開始される。 O_2 圧力は 30~40 t 炉では 8~12 kg/cm², ランス先端と鋼浴面上までの距離は熔銑の成分そのほかに左右される。

精錬終了期は火焰判定で行なうが、吹製中の温度調節は吹精しつつシュートから鉄鉱石、石灰石、石灰を炉内に投入する。精錬終了後はスラグを排沢し、必要ならば炉内で Fe-Mn を添加し、また目的によつては加炭を行なう。

上吹転炉の吹製時間は 30~40 t 炉で約 20mn, tap-tap 34mn, 50 t 炉で 24~39mn とされていたが、最近の八幡の実績では (60 t 炉で熔銑配合 80% で charge-tap 34mn, 良塊歩留 90% を示している。 O_2 使用量は 54.7 Nm³/t で製鋼能率は 100t/h であつた⁽⁷⁴⁾。

J & L の Aliquippa 工場⁽⁷⁵⁾ では 65 t 転炉で1熔解当り 83.45 N.T. で装入一出鋼 38mn, 製鋼能率は 135.4 t/h で O_2 使用量は 43.4 Nm³/t であつた。

上吹転炉は底吹 O_2 富化転炉とほぼ同じ生産能力を有し、もちろん平炉より高能率である。Canada の Dofasco の実績では 40 t 2 基の L・D転炉工場は 250 t 炉4基を有する平炉工場に匹敵すると考えられている。さらに大型平炉と異なり鋼塊が少量ずつ規則正しく圧延工場へ流れるので、造塊設備、均熱炉は小容量で済む利点がある。

L・D法は燃料を使用しない製鋼法なので、できるだけ作業条件が一定に保たれるならば最良の結果が得られる訳である。均一な熔銑成分を得るために十分な混銑炉の設置が望ましく、熔銑、屑鉄の秤量は操業を成功させるための必要条件である。さらに tap-tap の時間は一定であるべきで、毎回の温度測定は調節に有効な手段である。

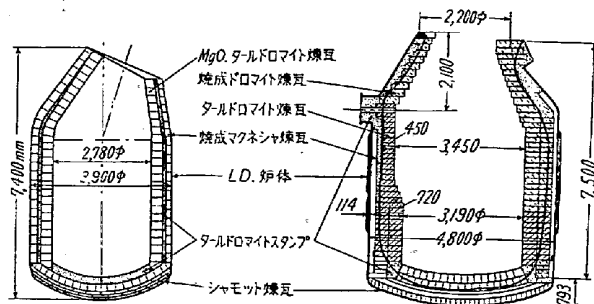


Fig. 12. 偏心、同心転炉断面図

* 富士製鉄株式会社室蘭製鉄所研究所長

(1) 炉体、耐火材料: 上吹転炉の炉体は従来の転炉とほぼ同じで溶接鋼板(30 t 炉で 2"厚)製で梨型をしている。下部は半球形に仕上げられているから Demag-Donawitz の設計では修繕に便ように下部が取外し可能である。しかし底部装入車が必要なので建設費がわずかに高くつく。炉口の形状は Eccentric(Linz) と Concentric(Donawitz) の 2 形式があるが、優劣を決め難い。前者は炉高が高くなり炉口も大きくなる反面廃ガスの誘導に便であり、後者はガスの誘導に不便であるが炉高炉口ともに小で、出鋼はどちらの側に行つても良く、築炉も簡単な利点がある。しかし最近では図のように特殊出鋼口を付すようになった。

日本鋼管では対称型の炉体に鑄込台車の制約から炉の中心線に 60° の角度で出鋼口を取付けている。これによつて滓止めの作業を全く省略できるので、製鋼時間が短縮され、石灰、合金鉄の使用量が減少し、熱効率の増大によつて屑鉄配合が増加する。炉内残滓が管理され吹精条件が一定し、噴出が減少する。出鋼時の熔鋼流が整流となり、空気酸化が減少するため従来のような脱酸不良のような現象が見られなくなつた⁷⁶⁾。

ライニングについては操業初期にはかなり困難があつた。当初はタール・マグネサイト、タール・ドロマイトまたはラムミックスが使用され寿命は 150 回以下であつた。ライニングの寿命は耐火材料の品質とその使用方法許りでなく、銑鉄成分、装入条件、製造鋼種にもよる。

ライニングの様式は Fig.12 に示すように permanent lining には普通はマグネシア煉瓦を用いるが、double burned ドロマイト煉瓦を用いる例もある。wear lining はタール・ドロマイト煉瓦あるいはタール・ドロマイト・マグネサイト煉瓦を用いる。なおまたタール・ドロマイト煉瓦を baking する例もある。

Donawitz では普通の焼成マグネシア煉瓦ライニングで 500~600 回の寿命、Linz では多量のマグネシアを含有したタール・ドロマイト煉瓦であるが平均寿命 390 回である。しかし戻り屑の利用を考慮すると耐火物の平均使用量は前者 3.7 kg/t、後者 3.9 kg/t である。

Aliquippa 工場の最近の実績では 55% MgO を含むタール・ドロマイト煉瓦の使用で平均 181.6 回、最高 271 回、煉瓦消費量は約 10 kg/t である。

前掲八幡の実績では現在 350 回以上、消費量 6.5 kg/t 以下の優れた成績を示している。

タール・ドロマイトは繰返し使用が可能であり、焼成マグネシアより安価である。なお MgO はスラグに熔け反応速度を遅くする不利がある。

(2) 吹製反応と脱酸⁷⁷⁾⁷⁸⁾: 上吹転炉法では化学反応の進行が激しく、O₂ jet の当たる浴面のスポット部では 2,500~3,000°C の反応帯が形成され、この ignition spot から熔鋼は直下に下降し、ついで炉壁に沿つて上昇する。したがつて反応帯には常に新しい熔鋼部分が供給され CO の激しい発生は攪拌を助長する。O₂ の圧力浴の深さ、炉体径との間には一定の比が存在し、鋼浴面上には沸騰する鋼滓のため十分の余地が必要である。精錬過程は Fig.13 のようで、最も主要なことは P と C が同時に酸

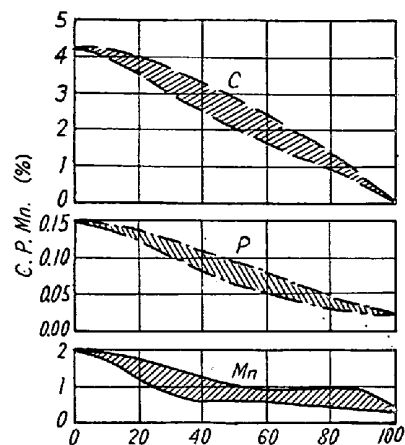


Fig. 13. Blasezeit (Blowing time) %

化除去されることで、これは活性なスラグが反応帯に早期に形成されるからである。

現在使用されている銑鉄成分の範囲は非常に広い⁷⁶⁾。

C%	Si%	Mn%	S%
3.60~4.60	0.05~2.50	0.30~3.50	0.08~0.40
P%			
0.17~2.00			

Si 含有量は配合屑鉄量を左右するが高 Si では平均 25% まで、ピークには 35% まで装入される。低 Si の場合は時により屑鉄 O になる。Si が比較的多いと吹込当初に酸性スラグができるのでライニングの寿命を短縮させる。

Mn は 0.3~3.0% の範囲では支障はないが、平炉同様製出鋼種に応じて限界を定める必要がある。低炭素鋼では C を別とすれば Mn は鋼中の O₂ 量を規定するので、銑鉄の種類にかかわらず前述の Mn 量は必要である。

Aliquippa⁷⁵⁾の操業例では熔銑中の Mn% が 0.40~0.50 の時は完全吹製後の残留 Mn は一般に 0.10~0.14 % になる。また 0.15% C < の高炭素鋼では残留 Mn は 0.22~0.30% の範囲になる。最高 0.42% という値を得たこともある。

P の限界は 0.5% であるが 2 回鋼滓法で高 P 銑を原料にして低 P 鋼を製出することができる。1 回鋼滓法では 0.3% P のチャージで 0.03% の鋼塊になる。

八幡製鉄所の 5 t 炉の試験成績⁷⁶⁾では P 含有量が最高

0.50% の銑鉄を用いて単一鋼滓法で、0.10% C > の鋼で P は max. 0.3% まで低下させ得ている。

S は問題ではなく低 S の熔銑が高炉で吹製できなければあらかじめ脱 S 処理をする。通常 S は 50% 減少する。

(3) 上吹転炉鋼の品質: 加工性ならびに機械的性質は平炉鋼に比肩し得るものである。不純物の少ない純度の高い鋼の製造に適している。

吹精ガスは 99.5% O₂ で、反応中に雰囲気中の N₂ が入り難いし、激しい CO の発生によつて装入物中の N₂ が除去される。N 分析結果は平均 0.003% で (1959 年 1 月中) 0.002% > が 23% で、残 0.003% が 54%, 0.004% < は 23% であつた⁷⁶⁾。

有害元素特に P, N が少ないので時効特性については平炉鋼と少なくとも同等である。また H₂ 含有量が低いのでフレーキングに対する感受性の点では平炉、電炉鋼より優れている。Aliquippa では各鋼種について優れていると報告している。低 C 級では熔接、冷間成形および熱冷間圧延シート、ブリキ、熔接パイプ、軟鋼線などで高 C 級では 0.40% までの構造物材、継目無鋼管、また 0.90% までの鋼索がつくられている。

上吹転炉鋼は粘性に富み曲げ試験に強い。S 含有量の少ないことは熔接心線にも有利である。厚板においては V ノッチシャルピー試験では炉時効試験片で -10°C にて 7.8 kg/cm² (45 ft-lb) の値を示し、造船用ロイド、Bureau Veritas 規格などにすでに採用されている。

2. 経済性⁷⁶⁾

上吹転炉法の特長として広範囲の熔銑成分と、屑鉄の需給に応じた配合比で、安価に優良な鋼塊を生産することができる。しかも建設費は同能力の平炉工場の 70% 程度に過ぎない。Fig. 14.

Vöest の L・D 工場では 1955 年に 30 t 転炉 2 基で合計 42 万 t を生産したが、3 基目の転炉の増設により

80 万 t を予想している。各工場の経費計算の比較。

同一量を平炉で生産しようとするれば 200 t 平炉 6~7 基を必要としよう。60 t 転炉 3 基では 150 万 t の年間生産が可能であるが平炉によれば 12~14 基を必要とする。したがつて L・D 転炉工場の建設費は遙に安価といひ得る。

(1) 生産費⁷⁹⁾

	平 炉	転 炉
総操業費	100%	53%
賃銀および給料	12.5	8
燃料・動力	28	12.5
工具・鑄型	13	13
耐火材・付属材料		
維持・修繕費	32	10
連帯・特別費	6	5
償却費	8.5	4.5

原料費の点については屑鉄の市場価格によつて変化するので一概に断定はできない。熔銑を主体にしている場合には鉱石法による平炉の Fe 分が安価ではあるが歩留は低下する。屑鉄が豊富な地域では平炉の原料費は安くはなるが、上吹転炉の操業費の低下分と見合う点がある。それで製鋼工場の建設計画には、立地条件の十分な分析が必要である。しかし上吹転炉の屑鉄使用可能な範囲が拡大し Kaiser Engineering のように 50% まで操業が可能といつているので平炉の熔銑操業と大差はなくなつてくる。鋼 1 t 当りのコスト低下は価格の変動にもよるが、\$2.5~5 は確実であり、ある例では \$12 切り下げ得るといはれている。

なお上吹転炉では出鋼量は小さいが、連続的に供給できるので分塊工場の負担を軽減することができる。

3. 高 P 銑の吹製法⁸⁰⁾

スラグ中の P₂O₅ の含有量は銑鉄中の P が増加するにしたがつて増加するため、鋼浴中からさらに P を除去するためには鋼浴を過酸化して鋼滓中の FeO を高くするほか方法はない。脱 P は一般に C が完全に除去されたのちにのみ行なわれる。C-O 平衡曲線では C% が低下すれば鋼浴中の O は高くなる筈で、P や O の低い鋼を得るには最終鋼滓の P₂O₅ 含有量が低くなければならない。それには 2 回スラグ法により最初のスラグで多量の P を除去する。

この工程の第 1 段階では屑鉄、石灰、熔剤が装入され、スラグ生成を早くするよう注意する。O₂ 圧は最初少し下げるが、10mn 後第 1 期末に鉱石粉末を添加しその後転炉を傾けて排滓する。鋼浴温度が適当でスラグの反応性が充分なら、加えられた FeO はおもに鋼浴中の P と反応する。つぎに石灰、フラックスを添加して通常の L D 吹製作業を行なつて第 2 スラグを作る。出鋼後最終スラグは炉に内残し次回の吹製に使用する。

銑鉄の P% が 1~1.34 の場合、鋼浴の P は第 1 期末 0.336~0.404%, 最終分析値 0.025~0.035% に止め

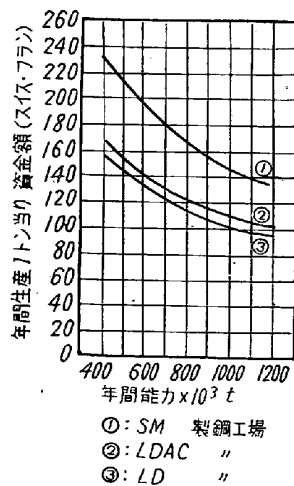


Fig. 14.

得たが、ほとんど0.03%以下である。スラグ中の P_2O_5 は第1スラグ8%前後、第2スラグで6%以下である。

30 t 転炉で tap-tap 45mn で滞炉時間の延長のため、マグネシヤの使用量は 5.5 kg/t から 7.5 kg/t に増加するが、Kaldo, Rotor 法に比較すれば非常に良好である。石灰は 140~160 kg で Fe の損失は多くなる。原価の増加は装入物で DM 4.30/t 操業費 DM 3.30/t 減価償却、金利は生産費が減るので DM 2.20/t すなわち 30 t 転炉で 0.30% > P の平炉鉄の吹製と約 1.3% の高 P 鉄を吹く場合とでは後者は DM 9.80/t だけ生産費が高くなる。

品質としては通常の LD 法と同性質と考えられる。

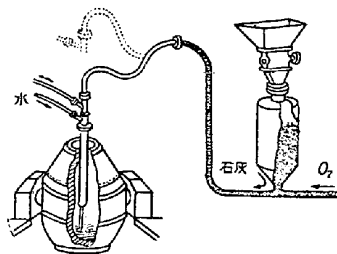
八幡製鉄所では試験操業で max. 0.50% P の銑鉄を吹製して単一スラグ法 (soft blow) で max. 0.030%, 2 回スラグ法ではさらに減少して max. 0.020% の好成績を示している。

4. O_2 -石灰吹込法^{81)~83)}

フランスの IRSID では普通の L-D 法に O_2 -石灰粉を吹込むことにより、高 P 銑から P 含有量の低い良質鋼を吹製する方法を開発した。この方法を OLP 法あるいは OCP 法 (Oxygen-Lime-Powder, Oxygène-Chaux-Poudre) と呼んでいる。

(1) 操業法: 本法はランスにより、石灰粉をサスペンドした O_2 を転炉内熔鋼面に吹付けて精錬する。

Fig. 15 にその系統図を示すが、炉は 30 t 容量で鋼浴面で内径 8'~6", 内容積は 900 cft である。石灰粉末は高速回転ハンマー



ミルで微粉碎したもので、Fig. 15. OLP 法の模型図 IRSID では特に考案された装置で供給されるが、銑鉄成分、精錬状況により量を調節する。

使用銑鉄成分はつぎのようである。

C%	Si%	P%	Mn%	S%
3.5~4.1	0.1~0.7	1.6~2.1	0.4~1.1	0.020~0.010

使用石灰成分

CaO	SiO ₂	Ig.loss	S
85	3	10	0.12

使用 O_2 純度は 99.5% で、90 lb/in² 冷却剤としては屑鉄または鉍石を使用する。

(2) 精錬反応: OLP 法の精錬の特長は脱 P 反応が非常に容易なことである。Fig. 16 はこの方法と塩基性 Bessemer 法の脱 P 反応の進行状況を比較して示

すが、OLP 法では熔鋼中の C % が高い間にすでに脱 P が進行し脱 C 反応終了以前に脱 P 反応は終了している。

これに反して塩基性 Bessemer 法 (Thomas

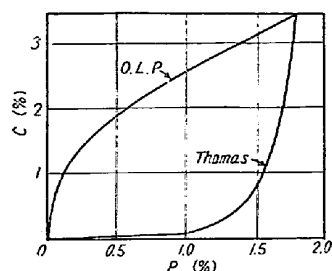


Fig. 16. O.L.P と Thomas 法の脱 C・P 曲線。

進行する。OLP 法では以上の事実から希望する C % で精錬を止めて、直接半硬鋼、硬鋼を精錬することができる。

(3) 高磷銑の吹製法: 操業は 1 回排滓と 2 回排滓の 2 方法がある。

i) 1 回排滓法 第 1 期に 1,800 cft の O_2 と 240 lb/t の石灰を吹き込む。終期には鋼浴の組成は 0.6% C 0.2~0.1% P で温度は 1,600°C に達する。この際のスラグの組成は CaO 56%, P_2O_5 22%, Fe 7% である。

この時期に鋼滓の一部を排滓する。第 2 期は排滓後鉍石または屑鉄を適量添加したのち、希望する組成の鋼が得られるまで O_2 と石灰を吹込む。この吹込時間は第 1 期終りの C 分析値によつて決定する。

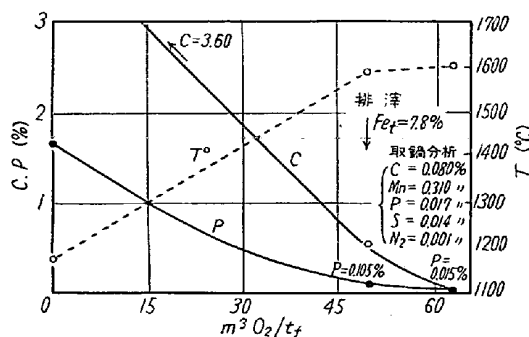


Fig. 17

また OLP 法では 1% Si でも鋼滓の泡立ちや splash なしに円滑に操業し得る。

ii) 2 回排滓法の精錬過程は Fig. 18 に示すように、

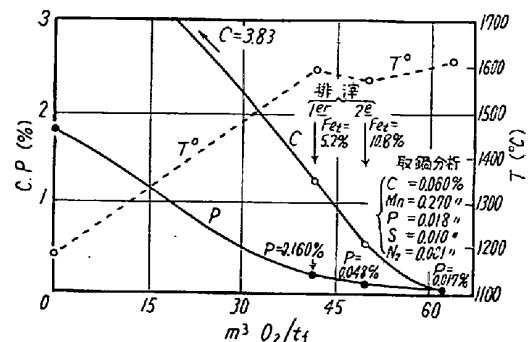


Fig. 18

O₂ を 1400 cft/t 吹込後、鋼浴の組成が 1.2%C, < 0.3%P で温度が 1570~1600°C に到達した際に第1回の排滓する。この時の鋼滓中の T.Fe は約 5.2% である。排滓後 350 cft の O₂ を吹込み鋼浴の組成が 0.5%C, < 0.1%P になった際にふたたび排滓する。鋼滓中の T.Fe は約 10.8% である。

1回および2回の排滓法の長短は、後者は精錬時間が延長するが希望する鋼の成分のバラツキは少ない。

IRSID の実験例では 3.8%C, 0.5%Si, 1.8%P の鉄鉄 t 当りの消費量は、石灰約 150 kg, O₂ 60 m³, 吹精時間は 20~30 mn であった。

(3) 品質: OLP 法で高 P (Basic Bessemer) 鉄から製造された低 C リムド鋼は P, S および N が非常に少ない特長がある。

P では鉄鉄中の含有量 1.8% から 0.015% まで低下している。精錬末期に容易に塩基度を増し得るので、過酸化の危険はなく脱 P 可能である。Fig. 19⁸⁴⁾

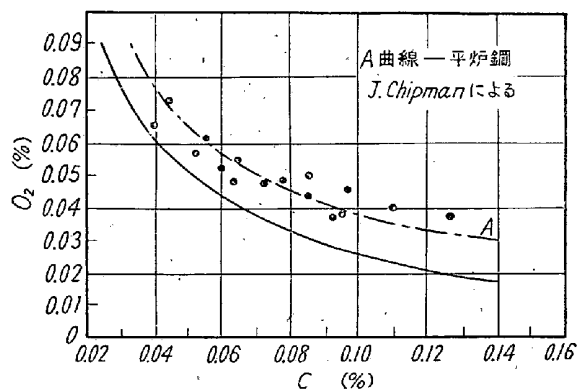


Fig. 19. 熔鋼中の C と O₂ の関係 (OCP法)

脱 S の大部分は精錬初期に行なわれるが初期鋼滓の強塩基度と低 Fe 含有量の関係で (S)/[S] > 12 になり、したがって排滓も重要である。中間および最終滓では (S)/[S] は 2~14 の範囲であった。1例では初期の S が 0.050% で添加石灰の S が 0.12% の場合に 0.015% S の鋼を製造し得た。

N 含有量は max 0.001~0.002% で Stromeyer の時効硬化に対する制限式

$P + 5N$ or $P + 10N = 0.090$ に対し、30 台で止め得る。

微量元素についても

$Cu + Ni + Cr + As + Sn \leq 0.180\%$ である。

7~12 t のスラブ鋼塊を hot, cold strip で約 0.8 mm に圧延し、USINOR の冶金研究所での試験結果ではつぎのような高級深絞り鋼に相当するものであった。

(試料採取位置、鋼塊中央部)

降伏点	25,900 lb/sq. in
引張強さ	46,000 "
伸び	51.8%
硬さ H _B	42.7

(4) その他: 耐火物の消費量はドロマイトで 10 kg/t, 廃ガス中のダストは O₂ 単味に比して多くなく、赤色ヒュームは減少する。

O₂ 使用量は屑鉄配合量により相違するが、約 59 m³/t 冷却材 (屑鉄, 鉍石) は 250 kg/t 石灰は鉄鉄 t 当り 85 kg, 製鋼時間は tap-tap で 30 t 炉では約 1 h であるが 45 mn に短縮される。Fe 歩留は 90%。

この方法は低 P 鉄にも応用できるし、脱 C よりも脱 P が先行するので高 C 鋼の精錬も可能である。

5. OCP 法 (LDAC 法)⁸⁴⁾⁸⁵⁾

ベルギー全国冶金研究センター (CNRM) の協力によつて、ARBED の Dudelange 工場で 26 t 炉の新設を行ない、O₂ 粉石灰法を導入した。方法は前述の OCP 法とほとんど同じである。異なる点は羽口の急速開閉により底吹きを上吹きに変更し得ることである。水冷ランスは炉内で垂直および回転運動をすることができる。

OCP 法の成績はつぎのようで OLP 法と特に差はない。

- 歩留高く 90% である。
- 屑鉄消費割合が高く鋼 t 当り 215 kg
- O₂ 消費量は 54~58 m³/t, 石灰は 93 kg/t, ドロマイトは 7~10 kg/t
- 精錬時間速く 26 t 炉で 35~45 s/t である。
- 最終 C% 高く, 脱 P は容易に行なわれ, 脱 S 率 60%
- N 含有量は O₂ 純度に左右されるが, 99.5% の場合 0.003% 以下である。

6. 上吹転炉による特殊鋼の製造⁸⁶⁾

上吹転炉の特長としてつぎの諸点が考えられる。

- その精錬過程から P, S, N, O 含有量を平炉鋼以下に下げ得る。
- 熔鉄を主原料とするので Ni, Cr, Cu などのトランプエレメントが少ない。
- 熔鋼温度の調節が可能なので合金元素の添加が容易である。

上記のような理由から、従来電炉によつた鋼種も LD 法で製造可能で Donawitz で各種特殊鋼の製造を試みた。

(1) 高炭素鋼の製造: LD 法では熔鋼を低 C に精錬して加炭する方法と、希望する C% の処で熔鋼の

catch C を行なう方法とが可能である。前者では出鋼前の熔鋼に銑鉄などを加える方法と、取鍋中の熔鋼に加炭剤を添加する方法がある。銑鉄添加は使用する銑鉄の成分によつて制限されるが、予め P, S, Mn など低下する処理を行なつて置けばよい。しかし製造技術上、経済上の理由で限界がある。加炭剤添加は研究的にのみ行なはれたが、C%の精度が良くない上に、加炭剤の残渣による汚染の問題が残る。

Donawitz では当初から catch C法を目標として試験をした。すなわち吹製時間の短縮、O₂ 使用量の減少、Fe の鋼滓化防止、鋼浴中の O 含有量低下が可能である。

軌条用鋼にこの方法を採用したが、約 2.5% Mn の Donawitz 銑を LD 法で精錬を行つた後では、鋼浴中の C が 0.60% の時 Mn は 0.70~0.90% になつた。場合により Mn の増加が必要となるが、炉内で Fe-Mn を添加する。

実際問題としては catch C 法を作業に導入するについて精錬の終了点を確実に決定し得る手段の研究が必要である。迅速分析によれば 90~99% の熔鋼分析値が、C および Mn の許容限界内に納められる。所要時間は平均 4mn であるが、分光分析法で非常に短縮された。

鋼種別製鋼時間はつぎのようである。

低炭素リムド鋼	32mn
〃 キルド鋼	34
高炭素鋼：熔融銑による加炭	37
〃 : 取鍋中加炭	33
〃 : Catch C による	31
〃 : Catch C, 高 P 低 Mn で中間排滓	39
高炭素合金鋼	44

屑鉄の代りに鉾石を使用し分光分析法を採用し、また Dofasco で実施中の特殊出鋼口を用いてさらに時間を短縮される。

現在暫定的に合金肌焼鋼 (15 Cr 3, 16 Mn Cr 5) 合金調質鋼 (41 Cr 4) 工具鋼 (80 Cr V 2) クロム軸受鋼 (100 Cr 6) Cr-Mn 軸受鋼 (100 Cr Mn 6) 珪素鋼を吹製している。

操業に使用される銑鉄は高 S で普通の脱 S を行なつてそのまま混銑炉に移す。温度の調整は屑鉄の装入による。石灰石は普通の大きさの製鋼用のものを使用するが、場合により鋼滓化を早めるための螢石を使用する。しかし微粉石灰の使用では螢石は不要である。通常装入量 36 t 操業で精錬末期の温度は添加物を考慮に入れて適度に高目に保つが、温度測定は浸漬高温計を用いる。

Donawitz 工場での特殊鋼試作について上記したが、Witton 工場では連続 cupola による銑により上吹転炉で特殊鋼の生産を行ない、20% の原価低下が見える。操業法は 2 回排滓法で製鋼時間は 1°40' (charge-tap) で脱 P のため AC 法を採用している。精錬区はつぎのようである。

上吹転炉：特殊元素 5~6% までの合金鋼、工具鋼
13% までの Mn 鋼

合併法 (転炉—電炉)：ステンレス系の高合金鋼

電炉：高速度鋼、高合金バルブ、W 鋼

従来電炉鋼塊 6,000 t/M の生産であつたが、うち 4,000 t/M を転炉に移し、電炉 1 基を休止しているといわれる。ほかに Bochumer Verein 工場でも上吹転炉で珪素鋼、Mn-Cr 鋼を製造している。

ソ聯のペトロフ工場²⁷⁾で起重機用レール (0.50~0.73 % C) を 1 回排滓法で吹精し、出鋼前にさらに排滓して二次反応を防いで成功した。Wire rod (0.20~0.29% C, 1.2~1.6 Mn) も吹製したが、所要の C 量のとき吹製を中止する研究が必要であると述べている。

7. 上吹炉の将来性

上吹転炉は元来低 P, Si 銑を原料として出発したがその後の発達に伴い石灰粉吹込みによる高 P 銑の吹製も可能となり、屑鉄の配合も 30% までは普通であるが、Kaiser Engineer Co. では 50% の配合も可能であると発表し、屑鉄配合の範囲が拡大されている。ただし屑鉄の多量配合は上吹法での製出鋼の tramp element が少ないという優位性が薄らいでくる。従来低炭素鋼の製造と限られていたが、高炭素鋼の製造も可能となり平炉鋼の分野に進出し得るようになり、さらに電炉によつていた特殊鋼も吹製が試みられている。ただし ALLARD²⁸⁾は後者について真に特殊鋼の名に値する鋼を直接製造している工場は知らない、しかし合金元素の添加を適切に行なうため、LD 法で製鋼しの際に電炉で短時間精錬する合併法は非常に面白いと思うと述べている。いずれにせよ今後の研究により、鋼種によつて制約はあるが、その発展が期待される。LD 操業法はすでに普通製鋼法として消化され、その生産性はいちじるしく向上して J. & L の Aliquippa 工場では 60 t 炉で 100~110 t の出鋼を行ない、U. S. Steel では現在の熔銑起重機の補巻の能力に制限されるが、200 t 炉の設計を行なつていられるといわれる。

米国における上吹転炉は 1957 年に 3 基で鋼塊生産 54 万 N.t. であつたが、1960 年には 12 基、4,000 N.

t. に増大し、今後製鋼工場の新設に当つては、平炉ではなく、転炉が採用されるようになっていわれている。

わが国での鉄鋼各社の長期計画では、転炉の新設が急増している。1958年度の転炉鋼塊は 87・4万 t の実績であつたが、1960年度は 287万 t と 3 倍の生産が予想されている。

わが国の長期鉄鋼需要予測では 1965 年に輸出用を合わせて粗鋼 3,800万 t であるが、原料としては屑鉄の供給増はもちろん期待できぬので熔鋳炉増設による輸入鋳の処理に重点が置かれ、当然高熔銑配合の可能な、しかも配合許容範囲の広い上吹転炉が主体になるであろう。

VII. Kaldo 法⁸⁸⁾

1948 年に 3 t の廻転実験炉で最初の実験が行なわれたが、1954 年 Stora Kopparbergs Berglags 社の Domnarvert 工場に 30 t 容量の廻転炉が設計、建設された。30 t 能力は同工場のベッセマー転炉および電炉と同容量に合わせたのである。1956年 5 月から稼働を開始し 1959年 8 月までに約 20万 t の鋼塊が生産されている。

この方法およびその経済的特性は、O₂ 吹込みにより生ずる CO ガスの全部、あるいは大部分を炉内で完全燃焼できるかどうかにかかっている。このような方法で発生する熱の利用には鋼浴へ熱がよく伝はるようにし、同時に炉の内面が過熱されるのを防ぐため、炉は早い速度で回転させて置かねばならない。静止炉の O₂ 吹込方法では CO の燃焼熱を炉自体に利用することは可能になっていない。

(1) 操業法: Kaldo 廻転式 O₂ 製鋼炉の構造、操業要領は Fig. 20 のようである。Kaldo 炉は高 P 銑精錬に利用されているが、Domnarvert の成分はつぎのようである。

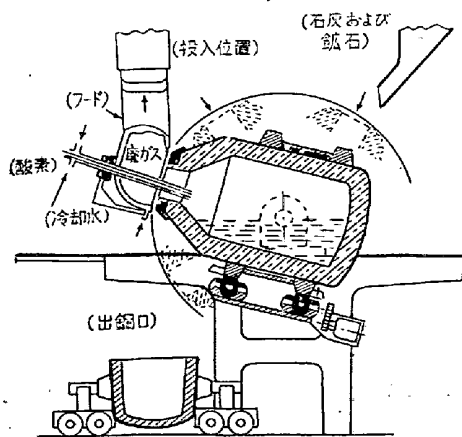
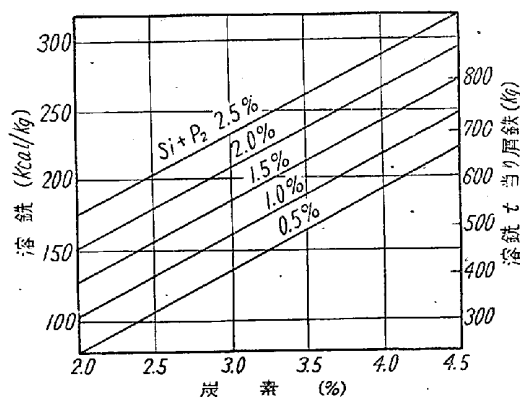


Fig. 20. 30 t Kaldo 炉

C%	P%	Si%	Mn%
3.5	1.8~2.0	0.2~0.3	0.7

鋼浴を冷却する場合、鉄鋳石では銑鉄 t 当り 140 kg、石灰石 150 kg を添加している。鋳石の代りに屑鉄を用いると、その冷却効果は鋳石の 1/3 以上にはならず、ほぼ 40% 屑鉄に相当するが、大量の屑鉄添加は行なわれなかつた。

吹込み O₂ は純度 97% で初期に 5,000m³/h の流速で沸騰が激しくなると 4,000m³/h 以下に抑える。Fig. 21. はいろいろの成分の銑鉄を使用した場合、屑鉄あるいは鋳石の溶解に利用できる熱量を示す。



計算の基礎: 炭素 1 kg につき 5286 kcal, (Si+P) の 1 kg につき 4,600 kcal, 溶銑の温度 1,300°C, 鋼温度 1,600°C, 屑鉄の当量 332 kcal/kg,

Fig. 21. カルドー方式において、屑鉄および鋳石の溶解に対する利用可能熱

0.1% C, 0.02% P の組成の鋼に精錬される 4.0% C, 1.0% Si, 0.22% P の銑鉄に適用すると、銑鉄 1 kg 当り 223 kcal の過剰熱が得られ、これは熔銑 t 当り 670 kg の屑鉄を溶解するに充分である。

有効な吹製時間は普通の高 P 銑を用い、鋳石で冷却し 35~40mn で tap-tap 1.5 h, 1 日当り出鋼 16 回、O₂ 消費量は銑鉄 t 当り 2,300~2,500 cft である。

この方式の特徴は P が C よりも一層早く酸化され、上述の銑鉄で必要ならば 0.5% C 以上で P を 0.025% まで低下できる。P の大部分は 1.5% C までに脱 P され、第 1 回排滓は 0.2~0.3% [P] で行ない、この鋼滓中の Fe 分は 3~4% に過ぎないので Fe 損失はきわめて少ない。第 2 回目の排滓は 1% C, 0.1% > P の時に行なう。最終鋼滓は石灰を投入して炉内に残し次回操業に使用する。

炉の廻転速度は高速の方が鋼滓の FeO が低く、比較的粘性がある。1~2% C までに大部分の脱 P を行なうにも高速が必要である。さらに最終鋼滓の FeO を下げ

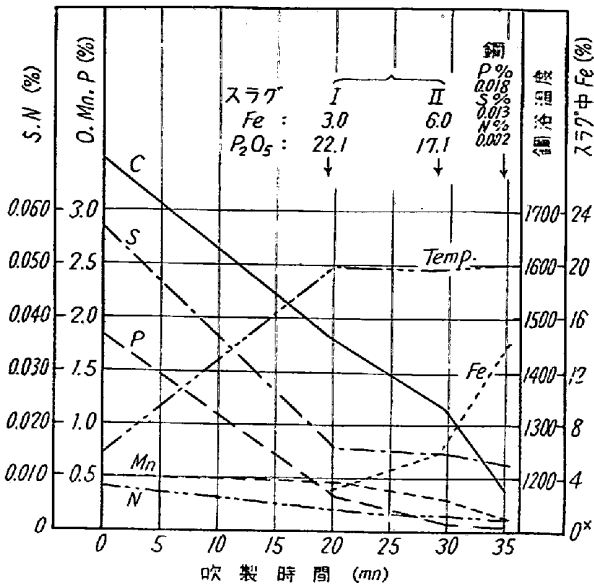


Fig. 22. Kaldo 炉の精錬経過

るため吹製末期には top speed (30 r.p.m.)にする。廃ガス中の Fe 分は固定式炉に比して非常に少ないので除塵装置を必要としない。鉄分歩留は高 P 鉄の場合、屑鉄冷却は珪石の場合より高く、それぞれ 92.4% および 89.4% である。

S 量はきわめて低く銑鉄中の S が 0.06% の際、鋼中の S は 0.010~0.015% となろう。N もきわめて低く 92% 純度の O₂ で約 0.002% である。

ライニングはタールドロマイトであるが寿命は約 50 回。

原単位の 1 例を示すと Table 18 のようである。

Table 18. Kaldo 法における原単位

熔鉄	kg	1,020	酸	Nm ³	65
銑石	kg	150	動力	kWh	10
石灰	kg	140	発生	kg	22
合金材	kg	10	屑滓	kg	22.5
タールドロマイト	kg	35	ドロマイト	kg	10

良塊歩留は装入鉄に対し 89.6%

熔鉄+屑鉄に対し 97.8%

本法の特長

- 炉中で CO ガスの大部分を CO₂ に燃焼できるので、熱経済性が優れている。大量の珪石あるいは屑鉄を溶解できる。
- 作業に高い柔軟性を有する。廻転速度と O₂ 吹込

方向、量などいろいろに変化し得る。

iii) 所望の含有量まで C を添加して高炭素鋼を製造し得る。

iv) 熔鋼中の C % を比較的高く保ちながら P の含有量をきわめて低い量まで下げ得る。

v) S % はきわめて低い。

vi) O₂ 純度は高くなくとも N 含有量を低下できる。

vii) 鋼滓およびダストの鉄損失が少ないので歩留がよく、特別なガス静浄装置を要しない。

なおこの方法で低 P 鉄の吹製も可能であり、高 Si 鉄も攪拌が良いので有利である。高 P 鉄に対し予備精錬炉として利用すれば効果が大きい。

(2) 考察: 上吹転炉法と出発点を異にし、高 P の塩基性転炉用鉄から平炉鋼同等あるいはそれ以上の品質の鋼の精錬方法としては、非常に興味ある方法である。しかも問題となるダストに対し特別な清浄を要しない。

しかし上吹転炉法が発達し屑鉄の大量使用、高 P 鉄の吹製になつた今日ではその優位性は薄らいでいる。

炉体回転用の装置、そのための炉体寿命の低下はかなりの弱点となり、平炉鉄を使用しても 26 t 炉で 26 t/h トーマス鉄では 19.5 t/h の生産性に過ぎない。

CO ガスの燃焼による熱の有効利用は優れているが、O₂ 使用量は純度 99.5% に換算して 63.5 m³/t で少ない方ではない。

VIII. Rotor 法⁸⁹⁾

西独では製鋼に平炉、転炉が用いられているが、鋼塊生産量の 45% はトーマス転炉によるものである。戦後特に熔接に適する鋼質が重視されてきたが、屑鉄事情は平炉鋼のみに重点を置くことはできないので、熔鉄中の P 含有量に制約されない製鋼法が必要であつた。

Oberhausen ではトーマス鉄による良質鋼の製造を企画し、1952 年 4 月に新製鋼法である Rotor 法の試験に着手した。

(1) 構造:

Rotor 炉は円筒形で Fig. 23 のようである。Oberhausen には 60 および 80 t の 2 基炉があり、前者は長さ 14.6 m、外径 3.7 m、後者は 14.7 m で外径 4 m

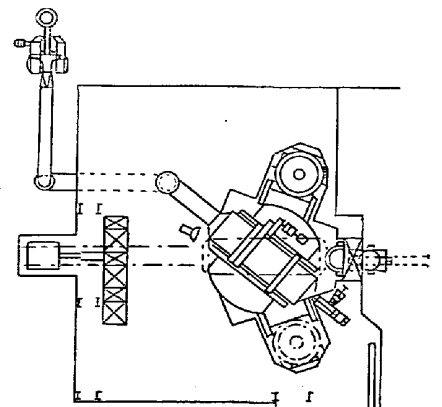


Fig. 23. Rotor 炉と回転

である。炉の両端に開口があり、前口は熔銑や添加物、 O_2 ランスの挿入、後口は廃ガス、鉍滓の排出用である。炉の回転数は $0.1 \sim 0.5 \text{ r.p.m.}$ で無段変速が可能である。

Permanent lining は MgO 煉瓦で wear lining はドロマイトのスタンプである。ランスは特殊なもので1次と2次の組合せで1次ランスは内径約 20mm の被覆した水冷ノズルで鋼浴内部に O_2 を吹込み、2次は内径 2" および 1" のノズル計 3 組を有するランスで鋼浴表面に O_2 を吹付ける⁹⁰⁾。

(2) 操業法と精錬反応: 予備精錬の場合: 予熱された回転炉内に石灰、鉍石を装入し、ついで 60t の熔銑を注入する。nozzle-wagon を前口に結合して精錬を開始する。40mn 後約 1% C の半銑としてタップする。排滓はタップ前に行なう。

1次ランスの O_2 純度は 99.5%, 2次ランス用は 70% ~ 90% である。Oberhausen は発生機的能力上純度 71% である。

Rotor 炉内での O_2 作用は Fig. 24 のように鋼浴から発生する CO ガスが2次 O_2 で完全燃焼させることが特徴の一つである⁹¹⁾。

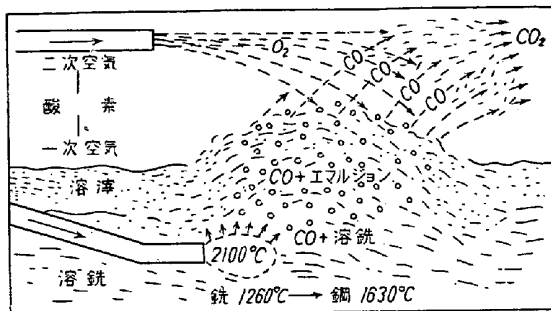


Fig. 24. Rotor 炉における酸素の反応

鋼の精錬: P含有量の低い鋼種を精錬するには予備精錬と同一過程で行ない、目標 C% に達したとき終了する。P含有量の高い熔銑を原料とする場合は熔銑中の C が 2%, P が $0.1 \sim 0.2\%$ に低下したとき、Fe含有量が低く P_2O_5 の高い鋼滓を除去し、さらに石灰、鉍石を添加して脱Pを行ない精錬を終了する。1次スラグは磷肥に、2次分は次回装入に移行させる。下記の成分のトーマス銑を用いて精錬した場合、鉍石の使用量は Fe 分で製出鋼 t 当り 100kg, そのうち 50~60% は mill scale を使用する。全 Fe 分の 50~70% は石灰と混合し残余は鉄鉍石単味で使用する。

Si%	P%	Mn%	S%	Cu%
$0.3 \sim 0.6$	$1.5 \sim 1.9$	$0.8 \sim 1.0$	$0.04 \sim 0.07$	$0.1 \sim 0.15$

石灰使用量は 125kg/t で鋼滓量は 210kg/t となる。

$0.3\% \text{ P}$, $0.8 \sim 1.0\% \text{ Si}$ の平炉銑では鋼滓量は 150kg/t に止る。鋼滓組成は概略 SiO_2 3~4%, CaO 45%。製鋼時間 (tap-tap) はつぎのとおりである。

装入	吹製	排滓出鋼	その他	計
10~15mn	50~60mn	10mn	—	約 2h

製出鋼成分はつぎのようである。

C%	Mn%	O%	N%
$0.05 \sim 0.07$	0.20	$0.007 \sim 0.015$	$0.003 \sim 0.004$

O_2 消費量は鋼塊 t 当り 90 Nm^3 で、1/3 は CO ガス燃焼に消費されるが、鉍石から 27 Nm^3 の O_2 が供給され、残りの所要量 63 Nm^3 が吹込み O_2 で補われる。有効率を 90% とすると 70 Nm^3 の O_2 が必要ということになる。

(3) 精錬反応: 吹製時間の最初の 1/3 は脱Pが脱Cに先行するが、トーマス転炉との比較が Fig. 25 である。CO ガスの燃焼とこれにともなう温度上昇は石灰の滓化を促進し、精錬過程に有利であり、精錬速度は主として装入鉍石量と吹込 O_2 量に左右される。1次 O_2 により生ずる精錬効果と鋼浴運動の交錯がこの回転炉の特徴である。

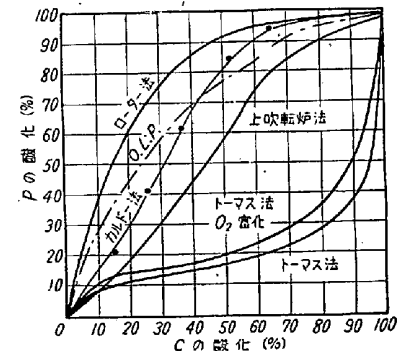


Fig. 25. 各種精錬法のCとPの酸化

O. L. P. Kaldo は筆者の記入したもの。

(4) Rotor 炉の配列: GHH の方式: 2基設置1基稼働, 3基設置2基稼働を計画, したがって架台もまた2または3必要である。その反面炉体は自転, 水平回転, 傾向が可能ならばよく, 架台1基当りの建設費は DEMAG より安価である。

DEMAG の方式: 炉体を架台から自由に外せるよう設計し, 炉を交換し得るようにした。炉体を架台上垂直に立てジャッキ付き台車に乗せて引出し, 予め修理した炉体と交換する。

いずれにせよ重量の大きな炉体の回転装置が, この方法の建設費を高める欠点である。

O_2 流量は廃ガス量 (脱C速度), 廃ガス中の $CO_2\%$ が一定になるよう自動調整をする。

除塵は廃ガス中のダスト粒が大きいので, cooler で注水して冷却, cyclon で集塵するだけで良い。

ランスの寿命は 1,000~2,000 回であるが, 炉体ライニングの寿命は短く, 100 回前後で, 耐火物の消費量は

80~40 kg/t に達し 将来 20 kg/t に節約されるという
が、多い方である。

この方法は平炉鉄の吹製も可能であるが、鉍石投入により C ボイルが烈しく、しばしば O_2 吹込みが不可能となり、精錬時間が延長する。

CO ガス燃焼のため 2 次ランスを備えているが、 O_2 消費はそれ程に低下しないし、生産率も低い。

(80 t—2.5 h として 32 t/h)

IX. 電炉における予備処理鉄の使用

電気炉に熔鉄を使用する構想は以前からあるが、精錬上の障害があつて高配合の実績は見られなかった。

(1) CO ガスの発生⁹²⁾: 4% C, 1% Si の熔鉄を 30% 以上使用する場合には、冷屑鉄とともに大量の鉍石、石灰石を装入し熔鉄注入前に熔解せねばならない。小容量の電炉では熔鉄中の C が反応して生ずる多量の CO ガスのため、調節不可能な程激しい沸騰が起る。

計算では 100 t の熔鋼精錬の際 50% の熔鉄で 10 万 m^3 のガスを発生する。加うるに電炉の還元雰囲気中で熔解するときは酸化反応が制約を受けるので、酸化剤の添加が不可能である。50% 配合では多量の鋼滓を発生し (220 lb/t) 数回排滓の要がある。大容量の電炉でも 25% 以上の鉄配合は一般的に実用的ではない。

(2) Si の含有量⁹³⁾: 装入物中の 1 lb の Si は 2 lb の SiO_2 を生成し鋼滓調整のため 6 lb の石灰が必要である。精錬末期の鋼滓の SiO_2 含有量が平均 15% とすると、50 t の熔鉄装入では 0.1% Si ごとに鋼滓量は 1500 lb となる。したがつて装入前の段階で熔鉄が脱 Si されるならば鋼滓の発生量はいちじるしく減少する。たとえば脱珪により熔鉄の Si が 0.7% 低下すると 100 t 熔解では 10,500 lb の鋼滓が減る。したがつて石灰も各ヒートごとに 4,200 lb 節約される。鋼滓は製鋼鋼種により異なるが 12~20% FeO を含有しているので歩留も向上するし、電力も低下する。

(3) 塩基性転炉による予備処理⁹⁴⁾: 欧州での熔鉄使用の対策は塩基性転炉で吹精して脱酸、仕上げのため電炉に装入する合併法を採用しているが、つぎのような難点がある。

熔鉄は相当に高い仕上温度にするため 1.5~2.0% P を含有せねばならない。脱 P は脱 C を伴うので処理の困難な低炭素鋼ができる。仕上鋼滓は FeO が多いので歩留が悪い。

(4) O_2 予備精錬鉄の電炉使用⁹⁵⁾: Wales の Br-ymbo 工場では高炉を有しているが、熔炉中の P は 0.6

~0.7% であつたので、 O_2 を吹込む傾動式重油燃焼の特殊な予備精錬炉で処理をしたことは前述したが⁴¹⁾、 O_2 とともに石灰粉が使用できるので高 P 鉄の予備処理も可能である。

なお従来装入の困難であつた大型なスケール屑をもあらかじめ熔解することができる利点があることが解つた。実績でも 6% 前後装入している。

電炉は 45 t 容量で 45~50% 熔鉄配合で操業されている。製鋼時間は tap-tap で 4.5 h で電力消費量は平均 395 kWh で、 O_2 消費量は 460 cft (13 m^3)/t である。

現在この方式で製出されている鋼種は低炭、高珪素、高炭、高珪素、珪素 Mn バネ鋼および鍛錬用特殊低合金鋼である。実際には広範囲の鋼が十分に製造可能である。

(5) 電炉における O_2 利用⁹⁵⁾: アンドレーエフの報告では電炉に O_2 を使用することによつて、炉の生産性 15~30% 高め、電力消費を 15~40% 減少し、高価な屑鉄を安価なもので一部を代用することができる。

エレクトロスターリ工場での一例では、不銹鋼の熔製の際、80 コペック/ m^3 の O_2 を 40 m^3 /t 使用し、節約された金額は 311 ルーブル/t であつた。内訳は不銹鋼屑の使用と切捨減少による節約 211 ルーブル、306 kWh の電力の節約 46 ルーブル、製鋼時間の短縮による節約 54 ルーブルである。したがつて O_2 の原価が高く消費量もいちじるしく多い前合でさえ、節約額は O_2 に対する費用の 6.5 倍に達する。

電炉製鋼工場では 1,000~3,600 m^3 /h 以上の生産能力のある O_2 発生機を設置する必要があり、 O_2 工場の能力増加のための出資は 6~7 カ月で回収される。(現在は小能力なので 50~80 カペイカ/ m^3 である。)

GAINES⁹⁶⁾は製鋼の日常作業に O_2 が使用されて生産率を向上しているが、その生産費に占める O_2 の費用はきわめて小さいと述べている。 O_2 が 1 t 当り \$15 の場合つぎのようである。

吹精法	O_2 使用量 ft^3 /t (平均 m^3 /t)	\$ O_2 費/鋼塊 t
平 炉 —		
天井ランス	600~900 (23)	0.38~0.56
電 炉	350~800 (18)	0.23~0.50
上吹転炉	1500~1800 (52)	0.94~1.13

(電炉は熔鉄装入、 O_2 製鋼である。平均メートル t 当りと換算した。)

電炉操業に O_2 を使用することによつて低炭素鋼の精錬が容易になり、電炉鋼塊の生産費の低下が可能となる。しかし熔鉄を予備処理して電炉に装入することによつて、鋼塊費を低下させることが可能であることが実

に示されたが、熔銑の使用によつて装入物の有害元素を最低に抑制し得る。

X. 結 言

1) 高炉の送風に O_2 富化を行なえば、銑鉄の生産率が増加する。したがつて最大送風量の操業の場合 O_2 富化によつて、高炉の生産力をさらに拡大し得る利点がある。 O_2 1% 富化で 6~7% の生産性が増大する。

米国では銑石の事前処理、焼結銑の使用量増によつて、前記程度の増産が可能なので特に O_2 による必要はない。今後は高圧操業によつて生産量は従来の炉容積で約2倍に達することができるので、新規建設の高炉はこの方向に進むようである。しかしながら既存の高炉で、しかも大きな改造を加えずに急速に銑鉄の増産を図るには非常に有利である。

2) 低炉における O_2 の利用は必ずしも効果的でなく、それよりも低炉に低級原燃料を使用できるという特性は、矢張処理した原料を使用することが有利で、焼結コークス製造に制約されるときにのみ有効である。

3) ここ数年間に O_2 製鋼が発達し、平炉の生産性がいちじるしく向上したが、銑鉄の成分に大変化を加えず、しかも高熔銑配合を行ない、またさらに平炉の製鋼能率を増加させるには炉外で熔銑の予備処理を行なうことが有利である。しかし処理作業のために出銑や平炉の熔受銑に遅延を来さない方式でなければならない。出銑時の処理は反応時間が不足であり、混銑炉では炉体損傷作業中断など好ましくない。処理塔内での熔銑流下中の脱Si、特殊な O_2 吹込炉があるが、後者の石灰粉の吹込は大いに効果があり、 $17m^3/t$ で Si は 1/10、P も 1/2 位に低下させ得る。現段階では熔銑の大量処理には平炉近くに特別な処理場を設置して、平炉注入前に取鍋中で脱Siを行なうのが適当である。 $10\sim12m^3$ で 60% 程度の脱Siが可能で、処理銑の装入で製鋼時間は約 10% 以上短縮可能である。

4) 平炉に O_2 使用するのにいろいろ方法があるが、少量 O_2 では山崩しが助燃より効果的で、併用すればなおいちじるしい。鋼浴への直接吹込は lime boil が優れており、ベッセマライジングがこれにつぐ。各種用法の併用で t 当り $27m^3$ の O_2 で 25 t/h 以上製鋼能率が增加する。

ソ聯では平炉の場合助燃使用が主体で、漸次天井バーナーが採用されつつある。英のサイドバーナー (Ajax) では稼働率は下がるが、生産性は 30% 上昇している。

米国では O_2 の鋼浴吹込は一般に天井ランスが専ら採

用され、炉の損傷も少ないといわれ、大型炉で 43t/h の能率で維持している。数年前までは米国の屑鉄配合比は 50% であつたが、今日では 40% となり市場屑えの依存度が低下しつつある。ただし天井ランスは傾注式平炉には不適當である。日本ではランスの浸漬による鋼浴直接吹込で成果をあげている。

平炉での O_2 使用は炉耐火材特に天井の寿命を縮めるので、全塩基性の吊天井が採用され、ギッターも上部は塩基性煉瓦が用いられる。 O_2 の使用量の増加に伴い、従来程の熱容量は必要としないし、格子目の大きさとそのダスト掃除対策とともに蓄熱室の再検討の時期に達しているのではなからうか。

予備処理ならびに平炉での O_2 使用によつて発生するダスト、フュームは今後益々問題にされようが、 O_2 による利益を損なわぬような除塵装置の選定が必要である。

5) 純酸素上吹転炉は装入量がしだいに増大し、80~100 t の実装入となり、 O_2 使用量は $55m^3/t$ 前後で製鋼能率も 70~100 t/h に達している。原料銑についても OLP 法 (OCP 法) のような粉石灰を O_2 とともに吹込む方法によつて高P銑でも、1回または2回排滓によつて普通のLD炉と同質の鋼の精錬が可能になつた。また特殊鋼の製造が研究され、LD炉単独で低合金鋼の熔製まで実現しており、あるいは電炉と合併法で効果を上げている。

LD 炉は建設費は平炉の場合より安価なので、今後低炭素鋼の量産を一貫工場で行なう場合には、平炉の新規建設は見合わされ、LD 炉が採用されよう。

6) Kaldo, Rotor 炉は脱P反応は脱Cよりさきに進行し後者は特に反応性が優れている。しかし OCP 法よりも製鋼能率は劣っており、発生する CO ガスの燃焼面では効果的であるが、 O_2 消費量は左程に低下していない。設備についても重量炉の廻転装置の不利がある。しかし除塵装置の簡単な点は有利である。

両方式ともに合併法における予備処理炉、特に高P銑の場合に関心が持てるが、採算面で有利であるかどうか疑問である。

7) 予備処理炉との合併法によつて電炉に大量の熔銑を使用する道が開け、電炉鋼製造において原料屑の品質選定に対する難点が除かれる。電炉による特殊鋼の生産性が向上し、生産費のいちじるしい低下の見通しが立つようになった。

文 献

- 1) D. J. O. BRANDT: Iron & Coal Trade Rev. 1~31 (1958) p. 263~271, 製鉄技術総覧 6 (1959) p. 406

- 2) 鉄鋼界報: 3~1 (1959)
- 3) J. M. GAINES: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 192 (1959), p. 55~60
- 4) J. H. STRASSBURGER: Blast Furn. & Steel Plant, 44 (1956) No. 6, p. 626~635
- 5) J. H. STRASSBURGER: Iron & Steel Eng. 33 (1956), No. 7, p. 157
- 6) J. L. HALISON: Iron & Coal Trade Rev. 173 (1956) 12-7, p. 1377; 173 (1956) 12-14, p. 1451
- 7) V. REMOND: La Technique Moderne, 8 (1958) p. 363~367; 製鉄技術総覧 (1959) No.2, p. 86
- 8) I. P. BARDIN: Stal, (1957) No.8, p. 673 製鉄技術総覧: 別冊 (1958) No.2, p. 59~81
- 9) A. N. POCHWISNEW, et al.: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 190 (1958) p. 337~338
- 10) M. A. SHAPOVALOV: Kislород, 4 (1958) p. 1~11; J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 192 (1959) abst. p. 86
- 11) C. M. SQUARCY, R. J. WILSON: Blast Furn. & Steel Plant, 45 (1957) No.1 p. 53~62
- 12) 室蘭製鉄所: 製鉄技術資料 No.9 (1959)
- 13) F. A. HILKEVICH: Metallurg, (1957) No.6 p. 3~7; ソヴェト科学技術情報 (1957) 8-15 p. 27
- 14) 児玉, 深川, 山本, 橋本: 鉄と鋼, 45 (1959) No.3, p. 181
- 15) 池上, 長谷川, 阪本: 鉄と鋼, 45(1959) No.9 p.869
- 16) イ・ペ・バルデン, 他: Stal, (1957) No.8 p. 673~684; 製鉄技術総覧 (1958) No.2 p. 30
- 17) ヴェー・エフ・アレドレーエフ: Stal, (1958) No.6, p. 561~568; 日本鉄鋼連盟調査局: 海外技術情報(1958)No.36, p. 139
- 18) 八幡製鉄所製鉄部: 第13回製鉄部会資料 9-17 (1959)
- 19) T. E. DANCY et al.: Proc. Blast Furn.(1958) p. 16~39
- 20) D. J. O. BRANDT: Iron & Coal Trade Rev. 173 (1956) 12-7, 1377; 173 (1956) 12-14, p. 1451
- 21) ア・フェリスコ: 鉄鋼界, (1956) No.7, p. 95
- 22) J. L. HARRISON: Iron & Coal Trade Rev. 173 (1956) 12-7, p. 1377; 173 (1956) 12-14, p. 1451
- 23) 児玉惟孝: 鉄と鋼, 42 (1956) No.12, p. 1139
- 24) P. Coheur: J. Metals, 7(1955) No.8, p. 872~876
- 25) L. VISNYOVSKY: Koh.Lapok, 12 (1957) No.6 p. 221~227; J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 191 (1959) abst. p. 199
- 26) 和田亀吉: 鉄鋼界, (1956) No.8, p. 22
- 27) I.R.C.: J. Iron & Steel Inst. 179 (U.K.) (1955) No.1, p. 36
- 28) M. ALLARD: 鉄と鋼, 46 (1960) No.1, p. 62
- 29) J. L. HARRISON: J. Iron & Steel Inst.(U.K.) 191 (1959) p.3 28~336; Iron & Steel, 32 (1959) No.6, p. 281~284
- 30) JACKSON, WOGIN, JHONSON: Iron & Coal Trade Rev. 173 (1956) 10-4, p. 889, 951
- 31) J. SITTARD: Stahl u. Eisen, 75 (1956) Heft 11, p. 1554
- 32) W. J. B. CHATER, J. A. CHARLES: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 191(1959) p. 319~328; Iron & Steel, 32 (1959) p. 276; Iron & Coal Trade Rev. 175 (1958) 11-14, p. 1173~4
- 33) 前田, 都築, 林: 鉄と鋼, 45 (1959) No.9, p. 883~885
- 34) L. COOK: Iron & Coal Trade Rev. 175(1958) No.4703, p. 87~93
- 35) ヤ・ア・シユネロス他: Stal, (1958) No.8, p. 694~702; 製鉄技術総覧別冊, (1958) No.4 p. 193~214
- 36) P. LEROY & R. SIMON: Iron & Coal Trade Rev.174 (1957) No.4663, p. 801~804
- 37) VON W. WOLF et al.: Stahl u. Eisen, 78 (1958) Heft 15, p. 1022, (1958)Heft 11, p. 1100
- 38) 岩田, 小川: 鉄と鋼, 42 (1956) No.9, p. 105
- 39) E. C. WRIGHT: Iron & Steel Eng. 33 (1956) No.1, p. 1534
- 40) S. L. CASE: J. Metals, 8(1956) No.12, p. 74
- 41) Iron & Steel, 32 (1959) No.6, p. 327~331
- 42) R. SEWELL: Iron & Steel, 31 (1958) No.11 p. 523~524, 製鉄技術総覧, (1959) No.5 p.326
- 43) 甲斐, 東, 山本: 鉄と鋼, 45(1959) No.3, p. 23~25
- 44) 岩田, 小川, 鈴木: 釜石技報, 2 (1959) p. 90~102
- 45) 野田, 土肥, 小沢: 鉄と鋼, 44 (1958) No.3 p. 101~104
- 46) 広畑製鉄所: 第14回製鋼部会資料, (1959)10
- 47) J. Metals, 8 (1956) No.8, p. 520~522
- 48) J. F. ALLEN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 188 (1958) p. 25~26
- 49) A. JACKSON: Iron & Steel, 32 (1959) No.3, p. 254; J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 190 (1958) p. 1~6; 191 (1959) p. 337~342
- 50) 室蘭製鉄所: 第8回製鋼部会資料, (1957) 11 No.217
- 51) A. J. KESTERTON: J. Metals, 8 (1956) No.2 p. 274
- 52) Sheet Metal Industry, (1956) No.9, p. 631
- 53) A. J. KESTERTON: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 189 (1958) p. 22~25
- 54) J. M. GAINS: Iron & Steel, 32(1959) No.3, p.252
- 55) O. PEARSON: Iron & Steel, 32(1959) No.3, p.271
- 56) Iron & Coal Trade Rev. 176 (1958) p. 1279 製鉄技術総覧, (1958) No.9, p. 651
- 57) 室蘭製鉄所: 第14回製鋼部会資料, (1959)10, No.386
- 58) 鶴見製鉄所: 同 上 No.388

- 59) A. L. HODGE: Iron & Steel Eng. 35 (1958) No.11, p. 97~100
- 60) 永見, 永野, 垣見: 鉄と鋼, 44(1958) No.3, p.227~229
- 61) 広畑製鉄所, 野田, 他: 鉄と鋼, 45 (1959) No. 3, p. 232~233
- 62) 八幡製鉄所, 小田, 他: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 9, p. 85~87
- 63) 同上: 第14回製鉄部会提出資料, (1959)10 No.394
- 64) 和歌山製鉄所, 岡本, 他: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 9, p. 92~94
- 65) エス・エム・プロイト: Stal, (1957) No.9 p. 792~795, 製鉄技術総覧, 別冊, (1958) No.2, p. 108~116
- 66) 鉄鋼界: (1959) No.4, p. 49
- 67) ボヤルコフ: 製鋼法・岩波書店, (1955)
- 68) 森永孝三: 富士製鉄技報, 6 (1957) No.3, p. 39
- 69) O. CUSCOLEA: 鉄と鋼, 43 (1957) No.2, p. 66
- 70) D. J. CARNIG: Blast Furn. & Steel Plant, 43 (1955), p. 1139
- 71) 土居 譲: 鉄と鋼, 42 (1956), No.4, p. 344~356
- 72) VOEST: 4 Years of Successful LD-Operation (1957)
- 73) 前原他: 鉄と鋼, 45 (1959) No.9, p. 109
- 74) 八幡製鉄所: 第2回新製鋼法研究会資料, No.10, (1959)
- 75) D. R. LOUGHREY: J. Metals, 11 (1959) No.4, p. 147~153
- 76) O. CUSCOLEA, K. ROESNER: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 192 (1959) p. 147~153
- 77) H. A. TRENKLER: 1-Year LD-Steel, p. 11~15
- 78) " : 3- " p. 10~16
- 79) 日本鉄鋼連盟調査局: 海外鉄鋼技術情報 (1958) No.36, p. 53
- 80) H. A. TRENKLER: Iron & Coal Trade Rev., 175 (1958) 8-29, p. 501~507
- 81) B. TRENTINI, M. ALLARD: Rev. Met. LV. N12(1958)p. 1195~1208; Iron & Coal Trade Rev., 175 (1958) 10-10, p. 871~874; 176 (1959) 6-8, p. 1073~1082; 製鉄技術総覧: (1958) No.12, p. 889
- 82) B. TRENTINI: J. Metals, 10(1958) No. 7, p. 466~470 製鉄技術総覧, (1958) No.12, p. 887
- 83) B. TRENTINI et al.: Iron & Steel, 32 (1959) No. 6, p. 286~289
- 84) P. METZ: Blast Furn. & Steel Plant, 46 (1958) No.11, p. 1191
- 85) P. MET: zIron & Coal Trade Rev., 175 (1958) 10-17, p. 931~936; Blast Furn. & Steel Plant, (1958) No.10, p. 1065~1079; Iron & Steel, 31 (1958) No.9, p. 455~460
- 86) O. CUSCOLEA, K. ROESNER: Revue Universelle des Mines, (1958) No.10, p. 485~494; Iron & Coal Trade Rev. 175 (1958) 8-12, p. 441~448
- 87) エス・イ・リフシツ: Stal, (1958) No.11, p. 979~982; 製鉄技術総覧別冊, (1959) No.6, p. 307~317
- 88) B. O. KALLING, F. JOHANSON: Iron & Coal Trade Rev. 173 (1956) 1-12, p. 1497 Iron & Steel, 31 (1958) No.9, p. 419~423 1956年ラテンアメリカ鉄鋼冶金加工業専門会議提出論文 (1957年メキシコ会議報告Ⅱ, 86~88)鉄連調査局: 海外技術情報, (1958) No.36, p. 123~130, (1959) No.33, p. 1~25 室蘭製鉄所: 新製鋼法研究会提出資料, (1958) No.7; Iron & Steel: 31 (1958) No.7, p. 18 製鉄技術総覧: (1958) No.7, p. 507
- 89) R. GRAEF: Stahl u. Eisen 76 (1957) p. 1 Iron & Coal T. Rev. 173 (1956) 11-23, p. 1267; 鉄鋼界: (1957) No.4, p. 77; A. GRAEF, L von BOYDANDY: Iron & Coal Trade Rev. 175 (1958) 11-14, p. 1151~5
- 90) 室蘭製鉄所研究所: 新製鋼法研究会提資料(1958) No.7, p. 9~14
- 91) A. G. RAPER, K. H. HOYLE: Iron & Steel, 31 (1958) No.10, p. 499~503
- 92) E. C. WRIGHT: Iron & Steel Eng., 33(1956) No.1, p. 74
- 93) S. L. CASE: J. Metals, 8(1956) No.12, p. 1645
- 94) H.W.A. WARNING, E. DAVIES: J. Metals, 11 (1959) No.8, p. 515
- 95) ヴェー・エフ・アンドレーエフ: 鉄連, 海外鉄鋼技術情報, (1958) No.36, p. 141~2.

酸素製鉄製鋼法 (I) 正誤表

誤		正
805 ページ	左下より8行目	混鉄炉を2基
"	左下より4行目	熔鉄, 副原料の
"	右上より8行目	スラッグを排滓し
809 ページ	左上より11行目	最近では図のように
"	左上より13行目	日本鋼管では対称型
"	右下より17行目	屑鉄Oになる
807 ページ	左上より2行目	P は max. 0.3% まで
"	Fig. 17	P は max. 0.03% まで
"	Fig. 18	1回排滓法における精錬状況
		2回排滓法における精錬状況