

技 術 資 料

酸素製鉄製鋼法(I)

森 永 孝 三*

Oxygen Process for Iron and Steel Making (I)

Kōzō Morinaga

I. 結 言

酸素の利用法が製鉄業に導入されるようになったのは第2次大戦以降のことで、比較的新しい技術であるが、すでに平常作業化した方法も少なくない。これは大量酸素の製造が工業的に可能になったことが大きな原因であろう。

酸素の利用方法を大別するとつぎのようである。

- i) 鉱石の還元: 高炉, 低炉における O_2 富化送風
- ii) 熔鉄の予備処理: 取鍋または混鉄炉における予備精錬
- iii) 純酸素製鋼: LD法, Koldo 法, Rotor 法
- iv) 平炉製鋼: O_2 による熔解, 脱炭促進
- v) 電炉製鋼: 精錬促進

高炉, 平炉に対する O_2 の利用は既存設備の生産性の向上に大きな役割を果し, あわせて成品品質の改善に寄与している。一方オースタリーで発展した純酸素上吹転炉のように原料の条件と品質の面から急速に発展した来た新製鋼法が欧米はもろん, わが国においても新設製鋼設備の主流をなしつつある。

英国における酸素の利用は熔鉄の予備精錬に期待を持っているが, 米国では高炉よりも平炉における酸素使用による熔鉄配合率, 生産性を増加させる方向に進み, また純酸素転炉は米国全製鋼能力の 25% を占める (1965 年) 見透しにまで達している²⁾。

米国での酸素供給量は年間 (1958 年) 約 580 万 t に達しているが, その半ばは製鉄業に向けられ, 主として製鋼とスカーフイングに消費されている。製鉄業での酸素の使用量は 1957 年中期より飛躍的に増大しているが, この傾向は “On-Site” タイプの酸素の供給と, 平炉操業における酸素使用量の増大傾向と一致している³⁾。

わが国では平炉における酸素の利用は昭和 24 年に, 鉄鋼連盟, 鉄鋼協会共催の鉄鋼 8 社共同実験が尼崎製鋼

で行なわれたのが最初であつて, その後 10 年間に飛躍的に発展し, さらに前述のように上吹酸素転炉の採用にまで進んだのである。

酸素の製鉄業での消費は平炉での利用を開始した昭和 25 年度では年間 60 万 m^3 であつたが, 33 年度には 16,500 万 m^3 で 275 倍に増加している。さらに同年度には上吹転炉の本格的操業にともなつて, 4,500 万 m^3 が消費されている。

酸素発生機装置も英国では数年前に 25 t (700 m^3/h) 以上の容量でなければ採算に合わないといわれていたが, わが国では初期の 500 m^3/h の装置から現在では 4,500 m^3/h のような大型化し, さらに 1 万 m^3/h の装置が設計されようとしている。今後上吹転炉の新設とともに平炉製鋼での酸素の利用も恒常化するであろう。

II. 高炉送風の O_2 富化

高炉における O_2 の利用は送風富化で, 一般には水蒸気を併用する。空気は不活性な N_2 を容積で 29% も含んでいるので, その一部を O_2 で置換することによつて高炉の生産性を増加させることができる。すなわち同一量の発生ガス量で熔解速度を増加し, また N_2 による稀釈作用が少ないので CO ガスの還元力を増加する。しかし N_2 は高炉のスタックの高所で還元ガスとの接触を充分に行なわせると同時に, 装入原料に対する熱の Carrier としての作用をするので, その影響をも考慮する必要がある。

1. 送風富化操業

米国の Weirton⁴⁾⁵⁾ で送風に O_2 富化を行なつたが, 2% の O_2 富化 (送風中 O_2 量: 23%) では送風量は 9.5% 増加したことになり, Table 1 のようにその結果出鉄量は 9.5% 増加した。

* 富士製鉄株式会社室蘭製鉄所研究所長

Table 1. O₂ 富化による送風当量

富化 O ₂ %	換算風量 ft ³ /mn
0	76,000
1.0	79,700
2.0	83,300

すなわち 76,000 ft³/mn (215m³/mn) の空気量は 2% 富化で 83,300 ft³/mn の空気と当量で、スタック上昇速度は同一である。圧力 18.7 lb/in² でコークス比は 0.885 であつたが、銑鉄成分は 1.10% Si, 0.035% S, 0.30% P である。

利点としてつぎのような点があげられる。

O₂ 富化送風によつて銑鉄の生産性が増加し、生産費を低下させる。

スタックを上昇するガス速度を増大させずに銑鉄生産量が増加するので、ダスト・ロスが減少する。

2% の O₂ 富化によつてコークス量は銑鉄 t 当り 10~12.5 kg 節約され、炉頂ガス温度は約 50°F 低下して、冷却損失は減少する。

高炉ガス中の CO/CO₂ は富化の有無にかかわらずほぼ一定であるが、N₂ の含有量が減少するので発熱量は増加する。熱量は通常 90~92 BTU/ft³ であるが、O₂ 2% 富化の場合は 98~100 BTU であつた。

風量当量が O₂ 富化によつて増加するが、ターボ送風機の蒸気消費量は増加しないので、蒸気量の節約になる。O₂ 富化操業の欠点としては WILSON⁹⁾ の示しているように、flame によつて高温帯を生ずることである。そのため溶解速度が変動する結果、銑鉄の成分に不規則性を生じた例もある。

Neuves-Maisons 製鉄所⁷⁾での富化操業でもつぎのような利点をあげている。

- i) 炉頂温度の低下、したがつてコークス比の低下。
- ii) 炉胸温度の低下、同部分の耐火物の寿命延長。
- iii) Mn, Si のような還元の困難な酸化物の還元が良くなる。
- iv) 装入装置および炉頂の耐久力の増加。

ところがソ連における高炉の O₂ 富化操業試験では、同様な利点を認めてはいるが、コークス比については減少せず時には上昇を表わしている。

ユジネ・タギールスク製鉄所の No.4 高炉(有効内容積 1,386m³)で送風中の O₂ を 23.3%, 24% に富化して実験を行ないつぎのような結果を示している⁸⁾。

送風中の O₂ が 23.3% のとき出銑量は 6.7%, 24% で 7.7% だけ増加した。O₂ 富化による銑鉄成分の変化には大差なく、炉頂ガス圧も 6,190 mmAq から 6,429

mmAq とわずかに 3.8% の上昇を見たのみであつた。

コークス消費量は減少せず、むしろ 24% O₂ 量のと看、送風温度を一定にするとコークス消費量が 8~11 kg/t 増加した。米国の研究者達は 2% O₂ 富化で 12.5 kg/t のコークス消費量が減少したと言つてゐるが、普通操業のデータがないので因子の分析ができぬと付記している。

POCHWISNEW⁹⁾ も同様に O₂ 富化による合金鉄製造では O₂% の増加に比例して生産量は増し、コークス比は低下する。しかし銑鉄製造の場合には、生産量は増加するが、コークス比の低下は期待できないとしている。

Novo TULA¹⁰⁾ で行なわれた試験結果でも、炉の生産性は O₂ 21% 以上 1% 富化ごとに 3.5~4% 上昇するが、コークス比には変化がない。合金鉄製造の場合 31% O₂ まで富化すると、生産性は Fe-Mn で 80~90% 上昇し、Fe-Si では 53% の上昇と、コークス比 15% 減少の結果を得ている。この場合同時に炉床に還元性のガスを吹き込むとコークス比がいちじるしく低下した。

2. O₂ 富化と蒸気の併用

O₂ 富化によつて高炉内に高温熔触帯を生じ、棚吊りを起し易いので、蒸気吹込によつて温度を調節し、さらにガスの還元力を増加させる方法が一般に用いられている。

STRASSBURGER⁵⁾ は送風に蒸気を添加することは、温度調節の他に N₂ のような稀釈ガスの増加を伴わずに還元用の H₂ と O₂ を供給することになると言つてゐる。

Coke rate と driving rate について SQUARCY, WILSON¹¹⁾ はつぎのように述べてゐる。

降下速度を一定にした場合、送風中の O₂ が増加すれば、bosh ガスの発生量は減少する。火焰温度は高くなるので送風温度は低下させられる。温度条件を考慮しなければガス発生量を一定に保つて、降下速度を増すことができる。蒸気の吹込は火焰温度を下げるので O₂ と併用することによつて、同一火焰温度、同一量のガス発生量で炉内の降下速度を増し得るのである。

Table 2 は bosh ガス一定の場合 O₂ と蒸気の混合送風が降下速度におよぼす効果である。30% O₂ 富化と 8.1% 蒸気吹込によつて降下速度は 34.4% 増加する。Table 3 は降下速度一定の場合に混合送風が発熱量とガス発生量におよぼす影響である。すなわち 30% O₂, 8.1% 蒸気ではガス発生量は 25.6% 減少する。

上記の比較は高送風温度の効果を考慮していないが、降下速度が増加した場合、ガス発生量は dry air の場合と同一なので、一定の送風温度に保てるはずである。

Table 2. 降下速度によぼす O₂ と蒸気吹込の効果

送風組成	送風量 CFM	Bosh ガス 発生量 LbMols	C 燃焼量 Lb/mn	降下速度増加率 %
Dry air	100,000	319.8	1332	0
23% O ₂ , 1.9% 蒸気	97,173	"	1448	8.7
25% O ₂ , 3.8% 蒸気	94,676	"	1558	17.0
30% O ₂ , 8.1% 蒸気	89,188	"	1790	34.8
35% O ₂ , 12.1% 蒸気	84,724	"	1976	43.4

注：発生熱量，各組成同一で 5,820,840 Btu

Table 3. 一定降下速度における O₂ と蒸気吹込の効果.

送風組成	送風量 CFM	Bosh ガス 発生量 LbMols	発生熱量 Btu	ガス発生減少率 %
Dry air	100,000	319.8	5,820,840	0
23% O ₂ , 1.9% 蒸気	89,399	294.2	5,357,755	8.4
25% O ₂ , 3.8% 蒸気	80,948	273.7	4,983,166	14.5
30% O ₂ , 8.1% 蒸気	66,356	238.4	4,343,131	25.6
35% O ₂ , 12.1% 蒸気	57,104	215.7	3,921,672	32.6

注：C 燃焼量は各組成同一で 1332 lb/mn

しかし燃焼したコークス単位量当りの発生熱量は可成低くなる。例えば25% O₂, 3.8% 蒸気の混合送風とdry 送風の場合，ガスと固体の接触および熱伝導が両者等しければ，降下速度が17% 増加することにより，Coke rate は17% 増し生産には変化がない。この場合装入物/コークスは17% 減少する。しかし降下速度の増加が17% の場合に，装入物/コークスの減少が7% に止まれば，生産は10% 増加する。

降下速度が一定に保持された場合，25% O₂, 3.8% 蒸気送風ではガス発生量は14.5% 減少する。

Slack wind (減風) 操業の場合，装入量を増し送風温度も上げ得るので炉の効率は良いが，生産量は減少する。富化操業においてもガスの流れについては同様であつて，この場合送風温度を可成高くすることによつて，生産を増加することができる。

室蘭製鉄所¹¹⁾で公称能力700 t 炉で降下速度とO₂ 富化の関係の試験を行なつた。湿分添加は13.6~30 g/Nm³。

a) 降下速度一定の場合：出銑量が700 t/d になるように降下速度を抑えながらO₂ 富化を行なつた場合の成績の一例を示すとTable 4 のような結果である。

すなわち送風量800m³/mn，圧力650 g/cm² 程度の低送風量，風圧にかかわらず順調に操業ができた。4% O₂ 富化に対して風量は15% 減じ，コークス比もやや低下している。炉頂ガス温度も下り，発熱量は増加した。この場合，蒸気添加を中止すると棚吊りが頻発した。

Table 4. 富化 O₂% とコークス比の変化

送風中の O ₂ %	21%	25%	
湿分 g/Nm ³	13.6	20	30
コークス比	715	654	689
Ore/coke	2.12	2.16	2.27
送風量 m ³ /mn	972	861	733
炉頂ガス温度 °C	180	141	105
ガスカロリー cal	850	856	905

b) 降下速度を増加させた場合：出銑量を700t/d から次第に上昇させて制限を加えなかつた操業では，O₂ 富化の効果はFig. 1~3 に示される。この場合，送風温度は800°C，

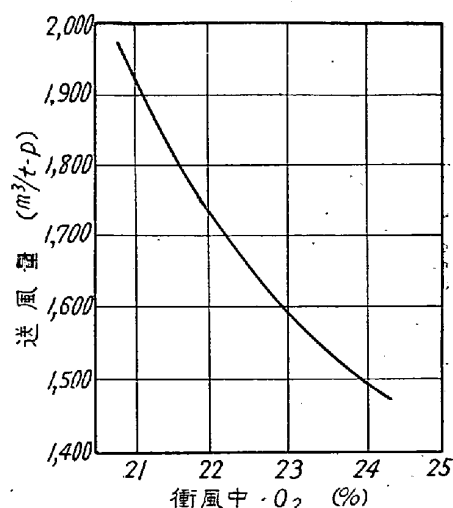


Fig. 1. 送風量によぼす酸素の影響.

コークス灰分は10% を基準とし，操業実績と計算に基いて補正を加えた。湿分は10~30 g/m³ の範囲で，湿分の増加に伴いコークス比は上昇するが，図示に当つては湿分一定に補正した。

O₂ 富化によつてコークス比は低下するが

送風中の O ₂ %	22%	23%	24%
コークス比低下	0.025	0.014	0.002

のような程度である。銑鉄 t 当りの送風量は低下し、炉頂ガス発生量も減少する。炉頂ガスの熱量は高くなり、炉頂温度は低下する。また熱風炉ガス使用量も減少する。

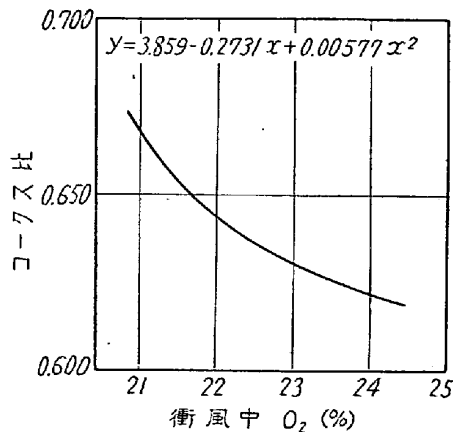


Fig. 2. コークス比におよぼす酸素の影響。

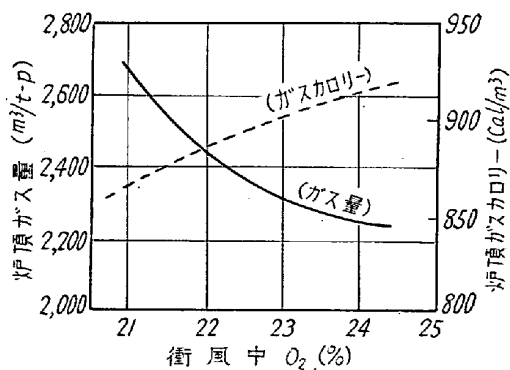


Fig. 3. 炉頂ガス量、ガスカロリーにおよぼす酸素の影響。

c) 送風機風量一定の場合 (最大風量): 2% O₂ 添加, 湿分 16.5~16.8 g/m³ において生産率の増加におよぼす効果は Table 5 のようである。

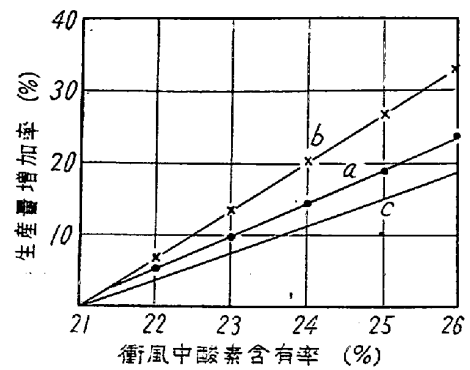
Table 5. O₂ 富化による生産率の変化。

送風中の O ₂ %	21	23
送風機風量 m ³ /mn	1.318	1.314
生産量 t/d	902	107.7
生産量増加率 %	100	119.4
計算増加率 %	100	112.4
コークス比	0.673	0.656

すなわち 2% O₂ 増加によつて生産率は約 12% 増加し、コークス比は 2.5% 減少しているが大差はない。計算値よりも生産増加率が大いがこれはコークス比低下によるものであろう。

富化送風と生産量の関係を図示すると Fig. 4 のようである¹¹⁾¹²⁾。高炉の生産性は装入物の物理的、化学的条件が一定ならば、単位時間当りのコークス燃焼量に支配される。

送風量一定の場合、O₂ 含有量が多くなれば、単位時



- a: 酸素富化後の衝風量一定の場合
- b: 送風機風量を一定としこれに酸素を添加し富化衝風とした場合
- c: bosh gas 量一定の場合

Fig. 4. O₂ 富化率と生産量との関係

間当りのコークス燃焼量が増加し、したがって銑鉄の生産量を増加することができる。図の a 曲線。また送風機からの風量を一定にして O₂ を添加すれば、b 曲線のように増加する。送風中の O₂ が増加すれば、単位重量の C の燃焼に必要な送風量が減少し、bosh ガスも減少するが、高炉操業において最大風量が bosh ガス量により制約されるならば、O₂ 富化送風によつて生産量を増加することができる。(Fig. 4 の c 曲線)

O₂ 富化送風によつて bosh ガス量が減少することは羽口前のガス燃焼速度を高め、炉床温度の上昇を伴い、また炉頂ガスの温度低下、同ガスの発熱量が高められる。しかしながら、富化度を高めるにしたがい熱風顕熱は低下するのでコークス比に対して不利な面が生ずる。

SQUARCY, WILSON¹¹⁾によれば、降下速度を増すことは送風量の増大、または富化送風によつて単位時間当りのコークス燃焼量を増加することである。しかし装入原料の物理的、化学的性質が改善され、あるいは降下速度が増大しても、必ずしも生産率の改善を意味しない。場合によつて降下速度が増大しても over blowing になり、煙道灰の増加、スタック中での熱伝導度の低下を来す。この場合には降下速度よりもコークス装入速度が大きくなり、生産は減少する。

八幡製鉄所東田 No.5 高炉で増送風と O₂ 富化操業の比較試験を行なつた¹⁴⁾。

d) O₂ 富化と増送風との比較試験 (Table 6): 試験の結果は 3% O₂ 添加によつて出銑量は 20.7% 増加し、コークス比はやや低下したが大きな変化はなく、水分の影響も同様であつた。これは室蘭での試験とほぼ同様であつた。

高増風試験では 18% の送風量増加によつて、O₂ 3%

添加と同出鉄量が得られ、明らかに O_2 富化が送風量の減少と同効果にあることを逆の面から確認し得たのであるが、この場合コークス比には変化がなかった。

Table 6.

		酸素富化	普通送風	高送風
送風中の酸素	%	23.6	21	21
出鉄量	t/d	696	591	695
コークス比	kg/t	640	652	649
送風量	m ³ /mn	716	719	850
湿分	g/m ³	30.4	21.1	21.0
炉頂温度	°C	175	200	206
炉頂ガス	cal	887	819	817

日本鋼管鶴見製鉄所 No.2 高炉での O_2 富化試験では¹⁵⁾送風量をほぼ一定として行なわれているが、出鉄量は O_2 1% について、約 6% 増加している。(STRASBURGER のデータでは O_2 1.5% では 7% の風量増加 7% 生産増、2% O_2 ではそれぞれ 9.5% の増となっている。)

コークス比は理論上 O_2 1% 添加によつて、送風量は一定でもコークス消費量は 5% 増大し、試験の結果でも 4% 増加したと述べている。しかし炉況不安定期(第 3 期迄)を除くと前 2 例と同様低下の傾向を示し、 O_2 1% について 2.4% 程度の減少となつている。

Table 7. 送風の酸素富化操業

試験時期		I	II	IV	V
送風中の酸素	%	21.1	22.2	22.4	22.7
湿分	g/m ³	25.0	26.0	26.0	27.0
出鉄量	t/d	543	547	585	614
コークス比	kg/t	625	634	610	610
送風量(除 O_2)	Nm ³ /mn	614	611	623	625
送風圧	g/cm ²	854	920	890	907
送風温度	°C	823	772	788	825
炉頂ガス温度	°C	230	213	202	207

3. 経済性

i) WEIRTON¹⁶⁾ の結論では、 O_2 富化によつて風量当量が増加するが、ターボ送風機の所要蒸気量は増えないので、結果的には蒸気の節約になる。 O_2 製造費は主として蒸気、労務費であるが、 O_2 1 t の製造に 800lb/in², 800° F の蒸気 3,100 lbs を必要とする。償却費を含めた O_2 費は \$5,00/t (¥2,84/m³) 以下である。

ii) ユジネタギール工場¹⁶⁾¹⁷⁾での O_2 富化送風では普通送風での平炉鉄 t 当りの原価は 2 ルーブル 40 コペック (約 ¥216) 高かったが、これは O_2 原価が高いため (15 コペック/m³—¥13.5/m³) これを 9.44 コペック/m³まで下げなければならない。

iii) 八幡製鉄部の見解では¹⁸⁾高炉工場では鉄鉄 t 当りの固定費が送風の形で、t 当りにつき富化する O_2 の価格以上であれば、 O_2 富化による増量によつて鉄鉄原価を低下させることができる。鉄鉄市場の好況で屑鉄価格が高くなつた際には、若干高価であつても O_2 富化による増量分の鉄鉄の使用は経済性がある。また既設高炉の出鉄量を増加させることによつて、鋼の生産を大巾に増大させることができる。

iv) 試算の 1 例では、コークス、送風量、熱風炉ガス使用量減少による原価減と、補正炉頂ガス発生量の減少および O_2 使用量による原価高を差引いて、送風中の O_2 22~23% の範囲で O_2 費 10 円前後の点に採算限界がある。しかし、細部においてはその工場の作業条件によつて差違があろう。

4. 総括

O_2 添加により送風を富化すれば、同量の bosh ガスで送風量を増加した場合と同効果が得られ、降下速度が増大し、出鉄量が増加する。その効果については原料条件操業条件で異ってくるが、八幡製鉄所では 2.2% の O_2 で 15.3%、室蘭製鉄所の例では 2% で 19.4%、日本鋼管では 6% の生産増加を示している。(ソ連、3% で 7.7%) コークス比については N_2 の稀釈作用が少なくなり、CO ガスの還元力が増加するのでやや低下の傾向はあるが大きな変化は示さない。しかし送風量を減じ bosh ガス発生量を減らして、降下速度を一定にした場合には、明らかにコークス比は低下する。

水蒸気の添加は O_2 添加により火焰温度が上昇するのでその抑制のために行なうべきで、ソ連では O_2 単味で平炉鉄吹製の際に衝風温度を 35~40°C 高くすることによつて安定した炉況を得たとしているが¹⁹⁾炉頂温度はわが国の場合より可成高く、炉容も異なるのでそのまま比較することは困難である。

DANCY ら¹⁹⁾は送風中に O_2 のみを添加すると、炉頂ガス温度は低下するが羽口帯の条件が変化して炉況が悪化するとともに、炉床温度が高くなつて鉄中の Si を下げることが困難で O_2 富化のみではほとんど利益がない。 O_2 と同時に蒸気を添加すると順調に生産量が増加できると述べている。

蒸気量については池上氏ら¹⁵⁾は O_2 富化率に比例して必ずしも公式的に増加の必要はない。試験の範囲では炉況安定化には 25~27 g/Nm³ 位で充分だと考えている。室蘭の場合では 20~35 g/m³ で炉況を安定させている。

八幡、製鉄部の資料では¹⁴⁾ O_2 と蒸気の併用によつて solution loss が減少してコークスの熱効率が増加す

る。蒸気量を高めると燃焼帯で生ずる水素が鉱石の還元利用され、加湿量 20 g/Nm^3 で約 27% 程度と述べている。

今後湿量の適正度とその効果についてはなお、検討の余地があると思われる。

Brandt²⁰⁾ はつぎのような見解を示している。米国では大型高炉に O_2 富化送風を行なつて生産量を増大した時代があつたが、その時期は銑鉄の需要増加に対して新に高炉を建設する余裕がないため、窮余の一策として採用されたものである。大まかにいつて O_2 富化の効果は送風温度の上昇と大差なく、ともに往々にして好ましくない現象を伴つてくる。

現在米国で O_2 富化を日常行なつていのはつぎの 2 社である。Weirton Steel で平炉銑用高炉に 1.8% の O_2 富化を行ない、U.S. Steel の Duquesne では合金鉄用炉 2 基に用いている。高炉に O_2 を使用することは補足燃料としての問題を無視しては論じ得ない²¹⁾。コークス使用量を低下し、さらに有効な O_2 の使用法を見出すことは非常に興味のあることである。高炉における O_2 富化は炉頂高圧操業や装入物の前処理と並んで、出銑を増加する一方法である。少なくとも鉱石を前処理した装入物に対しては有効である。

しかしソ連における考え方はつぎのようである。まだ O_2 導入について十分な研究がなされてないが、前記のニジネ・タギール工場での試験の結果は富化用 O_2 を製造するため同工場の O_2 設備を拡張することが目的に適することを示している。さらにこの結果は予備処理した装入原料で操業する高炉用 O_2 の製造設備建設を解決する適切な基礎となり得る。 O_2 発生機的能力は少なくとも $10,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ のものを据付けるべきで、この程度なら比較的安価な O_2 が供給できる¹⁶⁾。

室蘭、八幡両製鉄所における結果は、既存の高炉で最高の出銑能力に達した場合、 O_2 富化送風によつてさらに増産が可能であることを確認し、前者は今後とも 2% 程度の O_2 富化操業を継続する方針を定めている。

III. 低炉の O_2 富化

大容量の高炉ではガス上昇を妨害する粉鉱、強度の低い石炭は使用できないので、このような原料を利用する方法として低炉が脚光を浴びてきた。 O_2 富化送風を採用している例としてはベルギーの Liege にある低炉であるが、高炉を小型にした低シャフト炉は独の Oberhausen, Köln の Demag Humbolt の試験炉などがある。

1. 低炉によるトーマス銑の製造²⁴⁾

ベルギー国立中央冶金研究所の Liege グループの指導による研究は高炉で直接使用不可能な原料から低 Si 銑を製造し得るかどうかということであつた。炉は偏平楕円形の断面で、断面積は羽口レベルで 3 m^2 、同レベルと装入物最高位との距離は 5m である。

使用鉱石は Luxemburg 産のもので Fe は 26.4~35.3%, CaO/SiO_2 は 1.58~2.25 で粒度は 20~10 mm が主体で 50~60% を占める粉鉱である。コークスは粒度 20~10mm が主体で灰分は 10.3~17.8% であるが、低乾コークスと高揮発分炭、または無煙炭との混合燃料による試験も行なつた。

送風は 28% O_2 まで富化度を高めたが送風圧は 136~220 mmHg, 送風量は銑鉄 1 t 当り $3,000 \sim 3,600 \text{ m}^3$ 送風温度は 670~800°C であつた。

一般の条件下では補正 C 量は $1,200 \text{ kg/t}$ であつた。製造された銑鉄の成分は 2.89~3.61% C, 0.23~1.38% Si, 0.114~0.306 S, の範囲で C 含有量が約 3.5% の場合があること、Si 含有量が一般に 1% 以下で時に 0.5% 以下の場合があることは注目すべき点である。他方 S 含有量が 0.1% 以上で比較的高いが、これはコークスの S% が幾分高いことと slag の還元が不完全なことの 2 つの理由によると思われるが、それにもかかわらず脱 S 作用が認められることは注目すべきであろう。

2. 結 論

i) 送風中の O_2 を 23% に富化した結果、炉頂ガス中のダスト量は 25~30% 減少し、ガス量は 25% 低下し同時に発熱量は $3,000 \text{ cal/Nm}^3$ 増大した。さらに低炉の出銑量は約 25% 増大することができた。

ii) この場合貧鉄から低 Si 銑を製造することを目的とすると、 O_2 富化送風によつて燃料消費量を減少したとは信じられない。結局富化送風の問題は銑鉄生産量の増大、ダスト同伴量の減少、輻射熱損失の低下、 O_2 製造費に見合うものとしての高熱量の炉頂ガスの発生などの利益の多少によつて決定される。

iii) VISNYOVSKY²⁵⁾ は 60~100 t/day の能力の低炉で銑鉄を製造する際の問題点は総て解決できると述べている。生産は送風を 35~40% O_2 にまで富化することによつてのみ経済的に操業できる。もし低炉の炉頂ガスを他の冶金目的に充分有効に利用できるならば、銑鉄生産の際の燃料費は実質的に半分以下になる。炉頂ガスには S を含有しない。この方法に対しては Pécs および Komlo からのハンガリー炭、または洗炭されたハンガリー褐炭から製造されたコークス、灰分 15~20% で 5

～20mm 粒のセミークスが適している。redmud や硫酸滓のような国内産原料を使用して低炉でハンガリーの鑄物鉄を供給することが可能である。

3. 低炉富化操業の欠点

i) O_2 富化操業は低炉の安全操業のための必要欠くべからざるものとは考えられない旨を和田氏²⁰⁾は示している。

BRANDT²⁰⁾はつぎのような欠点を指摘している。低炉は燃料費が高いがこれはシャフトが短く、反応が小さな場所に圧縮されているためである。原料の降下が速であるため、 $700^\circ C$ 以下で起る間接還元($Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$)が充分に行なわれぬ中に高温部に達し、直接還元($Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$)が起ることになる。空気中の N_2 は熱を消費するバラストに過ぎないように考えられるが、羽口付近の熱の緩和、熱を上部に運ぶ作用をしているのである。

低炉はまだいろいろな点で問題が残つてはいるが、世界の製鉄業に対し不適当な原料問題に解決の道を与えるであろう。

The International Research Committee²⁷⁾では作業上の欠陥につきつぎのように報告している。

低炉は予期されたように普通空気の送風量の増加は困難であつた。実験の結果 chimneying と呼ぶ hanging を生じ、炉頂温度の上昇と多量のダストロスを生じた。幸にして熱効率はずぐれており、上述の現象は高温帯の集中の結果であることが観察された。

低炉に富化送風を用いた際に小規模の hanging slip が程度の差はあるが規則的に起ることが観察されたが、これは crust (部分的に溶解したアーチ型の zone の上部に冷装入物の zone を伴う) の存在によることは明らかである。将来適切な O_2 使用量の検討によつて良好な分布が得られよう。

iii) IRSID の ALLARD 所長²⁸⁾は低炉の工業的応用について東京での講演会でつぎのように述べている。

Liège の低炉のアイデアはこれを使えば焼結しない、つまり団鉱しないで原料が使える。またナマの石炭が使えるということであつたが、試験の結果では矢張焼結しなければならぬし石炭より遙にークスの方が成績が良いので、このような方式で工業的に行なうことは放棄した。Liège の低炉は小型実験高炉に改造した。

現在では低炉で工業的に行なうことは駄目だと思つてゐる。ただ常に小さいものでやる場合には別かも知れないが、工業的規模でやることはわれわれは放棄した。

IV. 熔鉄の O_2 による予備精錬

熔鉄中に O_2 を吹込むことによつて、熔鉄温度は上昇、Si 含有量は低下し、熔鉄の均一性が向上する。また Si 分の低下によつて石灰石、鉍石の使用量が減少し製鋼作業における歩留り、能率が向上する。なお鋼中の N_2 含有量も低下する。したがつて熔鉄の予備処理を行なうことによつて、平炉の生産能力を増大することができるのであつて、熔鉄配合率の高いほど効果はいちじらしい。熔鉄の予備精錬は一般には取鍋中で行なう試験が進められているが、その他出鉄用湯道あるいは平炉の装入樋で行なう形式も採り上げられている。その他戦前の予備精錬炉に替つて、Kaldo 炉や Rotor 炉のような新形式による合併法の研究も進められている。

1. 熔鉄取鍋予備処理

英国において²⁹⁾、高炉と平炉の間で熔鉄取鍋中で脱珪を行なつている工場は 32 ある。脱 Si は 18～60 t の取鍋中に行なわれ、塩基性スラグを作るため石灰石が添加されるがミルスケール、螢石を添加することもある。 O_2 を 3/4 in ϕ の鋼製ランスにより圧力 120～180 lb/in²、流速 10～15 ft³/mn/t で吹きこまれる。処理時間は約 20 mn であるが、処理後は熔鉄温度は上昇する。理論的には 0.70% Si の除去によつて $217^\circ C$ 上昇するが、実際には Si とともに他の元素も酸化されるのでほぼ大差はない。

O_2 の効率は Brymbo 工場ではきわめて高く、Si と Mn の除去に平均 82.5% が利用された結果となつてゐる。しかし 1956 年の APPLEBY FRODINGHAM³⁰⁾での吹製試験では、 O_2 を 7.1～10 m³/t 使用して、熔鉄温度の上昇は $200^\circ C$ 熔鉄中の Si, Mn はそれぞれ 1% から 0.3% に減少したが、予備精錬炉よりも費用が高く効率も 75% であつた。

吹精反応: SULZBACH-ROSENBERG³¹⁾でフードをかけた 15 t 取鍋で、マグネシア・ライニングを施した 9.6～25 mm ϕ の鋼管で O_2 を吹込んだ反応についてつぎのように報告されている。

吹精反応は O_2 が直接当る浴面の部分から開始されるが、トーマス製鋼法と同様に鉄中の元素は Si, Mn, C の順で酸化され、これらの元素が減少すると Fe 分の滓化が増大する。その際、反応元素の拡散に比して精錬反応速度が大きい程 Fe 分の酸化が激しくなる。Si 含有量が高くなると Mn と Fe に結合する O_2 の量に比して Si の酸化に消費される O_2 が多くなり、Fe および Mn の酸化損失が減少する。Mn も同様に作用して Fe

の酸化を防止する。Mn の酸化に伴い Si の酸化が進み浴の温度は上昇する。それで多量の Si の酸化は Mn の多量の酸化 Fe の滓化を伴う。Fig. 5 は Si と Mn の酸化関係を示し、最低の Si 含有量は多量の Mn の酸化ロスに伴うことが知られる。

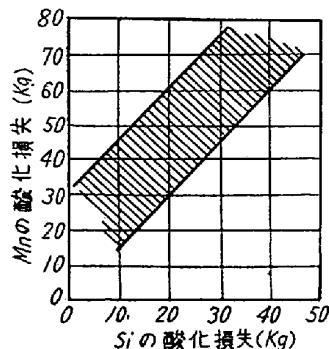


Fig. 5. 精錬中の Mn と Si の酸化.

N_2 の挙動: 予備精錬の場合、熔銑中の全 N_2 含有量は変化しないが、可溶性 N_2 と不溶性 N_2 (化合 N_2) の割合は変化し、可溶性 N_2 は増力し不溶性 N_2 はこれに応じて低くなる。Si の酸化によつて窒化珪素の一部は分解し、遊離した N_2 は浴から放散されずに Fe と結合する。しかし予備精錬によつて Si の酸化損失が増加しても、不溶性 N_2 は減少せず同一の Si% に対して不溶性の N_2 は異つた%を示す。ただし N_2 が 0.0035% 以上の場合に初めて Si 含有量とともに不溶性 N_2 が増加するが、それ以下では Si 含有量の増加と逆に不溶性 N_2 は減少している。この現象の解明についてはなお今後の研究が必要である。

SULZBACH での試験結果では O_2 はほとんど完全に利用されている。 O_2 消費量 $5.6Nm^3/t$ 、吹精時間は 4~36mn, 平均 13mn で鉄銑重量は $9.6 \sim 14.8t$ 平均 $12.7t$ 、銑滓量 $200kg/t$ 熔銑温度は混銑炉銑-1,188°C、吹精銑 1,253°C で 65°C 上昇であつた。試験の結果から見て、反応は拡散過程に頼るべきでなく、なおまたこの方法は従来の製鋼工程に結合されるので、付加的な時間と場所を必要としないものでなければならない。

造滓剤の添加: British Oxygen Research & Development Ltd.³²⁾ で熔銑表面に造滓剤を添加し、酸性と塩基性の取鍋に O_2 を吹込んで試験を行なつた。

酸性ライニングの場合に脱珪におよぼす造滓剤の表面添加の効果と、脱磷におよぼすソーダ灰添加の影響を試験した結果は Fig. 6 のようである。石灰石+鉄鉍石の添加は酸性ライニングを侵すので好ましくない。図では低温とあるのは予備処理中に熔銑温度を 1,300°C 以下に下げた場合で高温は 1,500°C 以上に保つた場合である。低温では 1.0% Si 付近でもソーダ灰添加によつて脱 P が行なわれるが、石灰石+鉄鉍石では 0.5% Si 以下で脱 P が始まる。高温の場合には石灰石+鉄鉍石ではほとんど脱 P されないが、ソーダ灰では 0.5% Si 位か

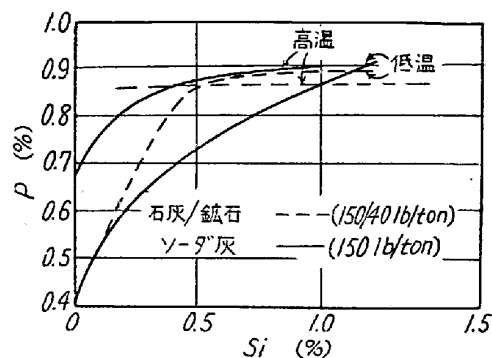


Fig. 6. Si と P の関係曲線 (酸性)

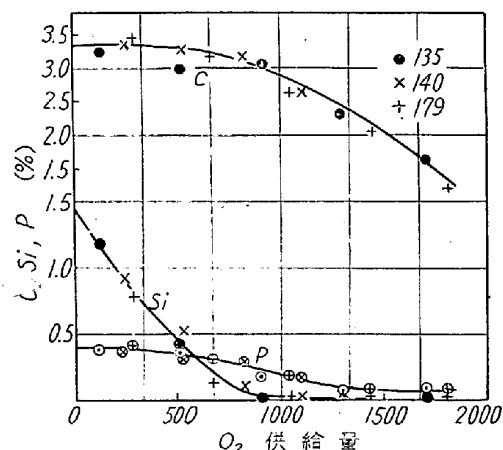


Fig. 7. O_2 流入速度と元素の変化.

ら脱 P が始まる。また Si は造滓剤の添加によつてやや多く除去され、ソーダ灰の場合には脱 S の効果がいちじるしい。

塩基性ライニングの取鍋ではソーダ灰を使用しても、石灰石+鉄鉍石の場合に比して何等利点はない。Fig. 7 は石灰石+鉄鉍石を添加した結果の一例を示すものであるが、脱 Si とともに脱 P が行なわれ、しかも P% は C 含有量を充分高く保つたまま、充分低下できることが知られる。

脱珪効果: 室蘭製鉄所³³⁾でフードのある試験設備を設置して予備精錬を実施した。ランスは水冷でノズルは銅製 $\phi 15mm$ であつた。熔銑処理量は 1 回当り 50 t で O_2 圧は $8 \sim 9kg/cm^2$ 、流量は $1,100 \sim 1,200 m^3/h$ 、 O_2 使用量は 50 t 当り $550 \sim 600 m^3$ で吹精時間は 30 mn であつた。媒溶剤使用量 (50 t 当り) 生石灰 400~500 kg、螢石 0~50 kg。

O_2 純度と脱 Si 効率は Table 8 のようである。ただし O_2 効率は成分除去に要する理論 O_2 量/通入 O_2 量 $\times 100\%$ で示す。

なお P および S は吹精前後でほとんど変化がなかつた。

Table 8. O₂ 純度と脱 Si 効率

O ₂		除去率 %			温度上昇	処理前
純度 %	効率 %	C	Mn	Si	°C	Si %
70	58	3.8	27.6	53.4	39	0.60
99	61	6.3	45.3	61.5	203	0.73

熔鉄の脱 Si が平炉製鋼作業におよぼす影響、並びに一定量の O₂ の最も有効な使用区分を試験したが、平炉の実装入量 205 t で、熔鉄 160 t 配合において、その中の 100 t の予備処理に 1 h 以上を要し、受鉄時間の延長を来し、厳密に未処理熔鉄での作業との比較は困難であった。その結果つぎのような成績である。

すなわち低純 O₂ 25 m³/t の中 6.2 m³ を脱 Si に、残量を鋼浴に吹き込んだ場合、製鋼時間は 5 h 09 mn で、直接熔鉄作業の中 25 m³ 全量を鋼浴に吹き込んだ場合より 39 mn, 4.0 m³ をパーナーから助燃に、残量を鋼浴に吹き込んだ場合より 19 mn 短縮され、鉍石量もそれぞれ 22.7, 14.2 kg/t 減少した。高純 O₂ の場合は製鋼時間は大差はなかったが、鉍石量は低純のそれより当然低下した。

結論としては予備処理鉄は高温、低 Si のため燃料および鉍石、石灰の節約となり、また脱 Si 処理に当つては O₂ 純度の高い方が効率はよい。

Oberhausen²⁰⁾ では 30~40 t の 2 基の取鍋を処理するため別に予備処理工場を建設した。約 300~500 mm の水冷式浸漬ノズルで低純 O₂ (80~90%) を熔鉄 t 当り 5 Nm³, 1~1.5 気圧で 45 mn 吹込む。トーマス鉄で Si は 40 mn 間に 0.15% に減少した。

仏の Caen²²⁾ では種々のランス吹込み法を試験した。浴面上 2~4 in の処で水冷式 jet で O₂ を圧力 170~210 psi; 357 ft³/mn の速度で吹込んだ。Si 0.70% の熔鉄 30 t を処理して 0.45% Si に脱 Si された。石灰スラグを使用しなければ効率は 0.70% Si で約 42%, 1.0% Si で 54% で、Fe loss は 0.50% であった。しかし鉄 t 当り 15 lb の石灰を使用すると 0.70% Si で 65%, Fe loss は 0.32% であった。

2. 粉末媒熔剤吹込法

Cook³⁴⁾ が研究した方法で石灰、ミルスケール、または鉍石、螢石などを 20~100 メッシュに粉碎、混合して O₂ とともに熔鉄中に吹込むのであつて、装置は Fig. 8 のようである。ランスは裸の 5/16 in φ の鋼管で、O₂ は 10 ft³/mn で送った。Table 9 はその試験結果の一例であるが、比較的簡単な設備で脱 Si, 脱 P, S が同時に行なわれることが知られる。本方法は現在 4 t のパイロ

ット・プラントで試験操作中である。

3. 取鍋流入中の予備精錬

熔鉄取鍋での O₂ 吹込は時間と特別な場所を要するので、高炉々前で熔鉄流入中に O₂ を吹込む方法がドイツで報告されている³⁵⁾。

18~20 t 容量の取鍋に 2 本のマグネシヤ外張りのランスによつて吹込むが、ランスは鍋中の湯面上昇にとともに上昇させ湯面との距離を 30 cm 一定に保つ。

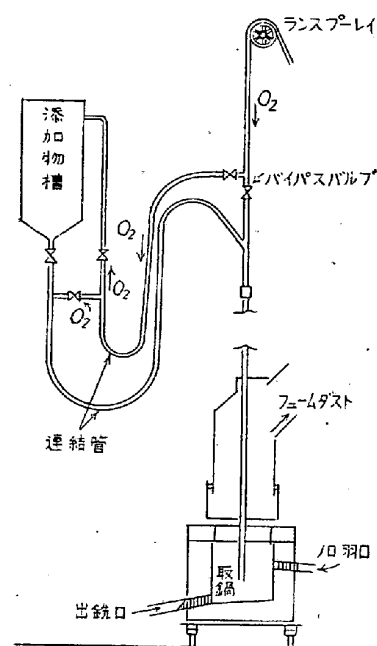


Fig. 8. 吹込装置

O₂ 吹込みは 19 t の熔鉄に対し、4~10 mn 間で 2.5~4.5 m³/t である。湯取り後の取鍋に O₂ を吹込む場合に比してこの方法は、同一脱 Si 率すなわち 43% で Mn loss は前者 33%, 後者 21%, Fe の滓化は 25% に比して 6.7% に過ぎない。これは絶えず流入する熔鉄が酸化によつて生じたスラグを巻込むので、ペラン効果によつて FeO が熔鉄成分を酸化し Fe に還元されたためであろう。

この方法は鍋中の深さによる成分の濃度差、湿度差が無く、吹精による時間の延長、付加的な場所を必要としない。しかし出鉄中の短時間に処理しなければならない

Table 9. 石灰 5 容, ミルスケール 5 容, 螢石 1 容の粉剤を O₂ と共に吹き込んだ時の試験結果

処理熔鉄量 lb		111		
O ₂ 吹き込み量 ft ³ /t		0	605	1209
粉末吹込み量 lb/t	石灰	—	83	167
	ミルスケール	—	83	167
	螢石	—	17	33
熔鉄成分 %	C	3.57	2.86	1.72
	Si	0.79	0.08	0.02
	Mn	0.63	0.09	0.07
	S	0.106	0.098	0.052
	P	1.13	0.59	0.026
鉍 滓成分 %	SiO ₂	—	14.8	7.0
	CaO	—	31.4	39.8
	P ₂ O ₅	—	12.8	14.3
	T.Fe	—	21.1	23.7

処理後の熔鉄温度 1425~1550°C

し、全熔銑に対して行なうには必要な吹込装置と廃気設備を要する。

4. O_2 、水蒸気混合吹込による予備精錬

O_2 による予備精錬では酸化鉄の褐色の煙を大量に発生する欠点があるが、煙の大部分は 0.5μ 以下の粒度の酸化鉄であつた。

Messers Dorman Long (Steel) Ltd.²⁹⁾ では O_2 と熔銑の接触点の hot spot を冷却することによつて煙の発生を抑制することを案出したが、容積比 50:50 の O_2 と蒸気の混合ガスを吹込むと煙が減少し、63:37 の混合比ではほとんど見えなくなつた。

水冷式ノズルで熔銑面上 4~6 in の処から、 O_2 -蒸気の混合ガスを吹付ける試験を Steel Co. of Wales Ltd. で行なつたが、70 t 取鍋に 35~40 t の熔銑を入れこれにスケール、石灰を添加した。 O_2 圧は 90~95 lb/in²、流量 20,000~25,000 ft³/h 添加水蒸気量は不明。25~30 mn の吹込みで煙は濃褐色から薄いピンクに変化した。熔銑の化学成分の変化は Table 10 のようで、P も低下している。

Table 10. O_2 水蒸気吹込による化学成分の変化。

	C %	Si %	S %	P %
吹込前	4.19	0.50	0.032	0.51
吹込後	3.77	0.04	0.026	0.28
減 量	0.42	0.46	0.006	0.23

ソ連のアゾフスターリ工場²⁶⁾では鋳鋼製蓋をした取鍋に 55~65 t の熔銑を入れ、ランスにより O_2 吹込試験を行なつたが、同時に鉄鉱石、石灰石を添加したがその結果はつぎのようであつた。

i) O_2 4.8 m³/t、蒸気 4.0 m³/t の混合ガスを 4.5 気圧で表面下 6~8 in に吹込んだ実験では、0.20% Si (脱 Si 率 41.5%)、0.55% Mn (脱 Mn 率 29.5%)、0.29% C (脱 C 率 7.3%) が酸化除去された。S は 21.2% 低下し、P は変化ない。

ii) 鍋に媒熔剤を添加することは出銑時と輸送間での熔銑中の各元素の燃焼を促進し、吹込の酸化を増大する。 O_2 効率は鉄鉱石と石灰石各 15 kg/t を添加した場合が最も良好であつた。添加物の量を同一にして含 P 銑を表面吹きしても、各元素の酸化量は減少しなかつた。

iii) 蒸気 20~40% (重量比) の O_2 との混合ガスを吹込むと激しい発煙はなかつた。表面吹きの場合は 7.5~10.5 気圧で蒸気 20% 混合で充分であつた。

iv) 熔銑温度は表面吹きが浸漬吹きより高く、媒熔剤を添加した吹込の温度は、無処理の場合より 40°C 高い。

v) 吹込みの際の Fe loss は 0.15% 程度であつた。V については出銑温度が 1,270~1,320°C、0.7% Si、2% Mn であれば 4~5% の鉄鉱石を添加しトーマス銑でも酸化は満足に行なわれる。(酸化量は 50~60%) 吹込時における温度上昇は V の酸化を一層悪くしたと述べている。

Oberhausen では V の回収が必要なので石灰石の添加をしなかつた。V は V_2O_5 として 5.35% スラグに移行した²⁹⁾。

O_2 -蒸気による脱 Cr³⁶⁾: O_2 による熔銑の予備処理としては特殊な例であるが、Dortmund の Hoesch-Westfalen 製鉄所ではコナクリ鉱は P 含有量が少ないので、トーマス銑用の低 P 鉱不足に際して約 30% のコナクリ鉱石を高炉原料に配合した。この場合、鉄銑中の Cr が 0.8% 程度に上昇するので O_2 による脱 Cr の実験を 1954 年半ばより行なつた。42 t 容量の熔銑鍋に 35~40 t 受銑して、水冷浸漬型ランスで浴中に O_2 を吹込んだが、ノズルは 2 本あつて相互に 180°C の角度で開口している。浸漬深さは 30~50 cm で吹込速度は 300~600 Nm³/h。 O_2 効率は 96% であつた。温度調整はこれにスケールを添加した。生成した Cr 鉱滓は鍋から分離し易く脱 Cr が終わってから鍋を傾斜して排滓する。

最初の試験により 0.7~0.8% までの Cr を含有する銑鉄を 0.1% Cr まで下げ得た。ただし、Si、Mn を含んでいない。P 含有量は約 0.3% 程度だけ低下したが、S は低下しなかつた。随伴現象である褐色のダストの発生は、水蒸気または CO_2 の混合使用によつて避けることができる。混合ガスの分解吸熱反応によりガス-金属の接触面における局部過熱を減じ、Fe が蒸発するのを減少させる。長い水冷ランス中で添加水蒸気は必然的に凝縮するので O_2 とともに水が吹き込まれることになる。 O_2 に水の添加量を増加して行くと、ダストの発生が減じ色が消えて行すが、水を約 1 l/Nm³ O_2 加えると完全に消失する。予備吹精による温度上昇は約 130°C であるが、1 l/Nm³ O_2 の水添加に対し、10~20% の降下に過ぎない。

5. 高炉湯道での O_2 吹込みによる予備吹精³⁸⁾

高炉湯道での O_2 吹込みによる予備精錬は取鍋処理に比して、時間の節約と連続処理の可能な利点がある。(Table 11)

しかしノズルで O_2 を吹込む場合にはつぎのような欠点がある。場所的に制約されるので比較約大きな装置を設備することはできない。熔銑の流れによつてノズルがきわめて速に消耗する。また O_2 吹込圧が高くなり O_2

Table 11. 連続予備精錬試験結果..

		O P. 68	O P. 70		
処理熔銹量	t	28	23		
処理時間	mn.s	5.50	8.35		
熔銹流量	t/mn	4.8	2.7		
吹込み O ₂ 量		49	96		
O ₂ 吹込み速度	m ³ /mn	8.4	11.2		
鉄銹 t 当り O ₂ 使用量	m ³ /t	1.75	4.2		
添加物	a. 粉石灰 kg	100	150		
	b. ミルスケール kg	300	100		
	c. 粉鉍石 kg	0	150		
鉄銹成分 (5 試料の平均)		処理前	処理後	処理前	処理後
Si %		0.74	0.49	0.76	0.47
Mn %		0.58	0.41	0.63	0.43
C %		3.63	3.71	3.79	3.85
P %		1.41	1.37	1.53	1.53
S %		0.053	0.049	0.041	0.040
Si 減量%		0.25		0.29	
Mn 減量%		0.17		0.20	
Siの除去に 使用された O ₂ %	1) 添加物中の O ₂ を除く	114		55	
	2) 添加物中の O ₂ を含む	50		41	
		処理前	処理後	処理前	処理後
平均熔銹温度 °C		1385	1425	1340	1460

は急速に逃げるので、化学反応が起るのに適当な時間が持てない。表面吹きでは O₂ と熔銹の接触が不充分である。

この欠点を補うために IRSID では耐火度の高い多孔セメントを湯道の下に設けて、その下から O₂ を熔銹中に吹き込む特殊な方法を発明した。この方法は未だ試験段階にあるが熔銹 25 t、処理時間 5~9 mn、O₂ 使用量 1.7~8 Nm³/t で脱 Si 率は 30~40%、熔銹温度は 90~120°C 上昇の結果を得ている。問題となる点は耐火煉互の寿命と処理中の褐色煙の発生であり、O₂ 吹込量は湯道を通る熔銹の速さと深さにより調整されるべきで目下研究中であると報告されている。

その後 Allard³⁹⁾ は 1959 年にこの方法に興味を持った国があつたが、フランスでは転炉に対する石灰粉吹込み技術が確立し、これによつて Si の悪影響を中和することができるようになったので、実用価値がなくなり目下行なつていないと述べている。

6. 流下塔による予備処理³²⁾

英国の Abthorpe Hill で 1957 年 3 月に開かれた British Oxygen Co. の会合で発表された方法で、その目的は半連続的に操業を行ない取鍋処理に生ずるような困難を避けて、もつと急速に有効な反応を起させる方法を

発達させることであつた。

さらに重要な点は、熔融金属が塔中を落下して行く間に、耐火物と接触しないので、その損耗が最低に抑えられることである。Fig. 9 にその配置図を示す。

この方法は脱 Si、P を行なうもので、脱 P には石灰を塔下の取鍋に入れるか、石灰粉を羽口を通して O₂ とともに塔中に吹込む。温度は 1,300°C 以上で注入すれば最も効果的であつた。熔銹処理量は通常 3 t/h で、時に 10 t/h に達した。Consett Iron Co. の試験工場では 60 t/h の処理量まで引上げ得た。

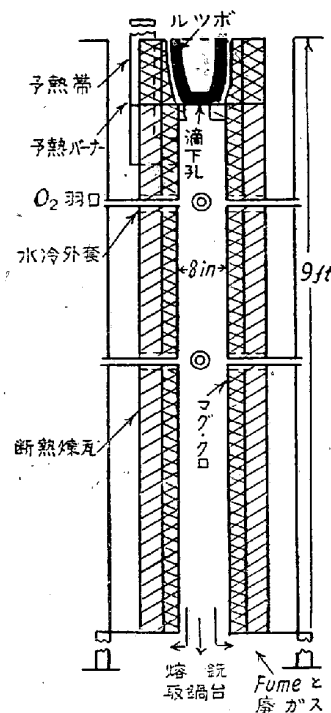


Fig. 9. 流下塔配置図

a) 脱珪試験

流下数: 2 流下口径: 1/4 in 羽口数: 4 注入速度: 1 cwt/mn, O₂ 使用量: 402 ft³/t

成分	C	Si	Mn	P	熔銹温度
処理前	3.67	0.78	1.06	0.67	1,415°C
後	3.57	0.06	0.36	0.61	1,480°C

O₂ 効率: 78% Fe 歩留: 96%

b) 石灰添加試験

流下数: 8 流下口径: 3/32 in 羽口数: 4
注入速度: 1/2 cwt/mn O₂ 使用量: 1,465 ft³/mn
石灰添加 66 lb/t

熔銹成分	C	Si	Mn	P	S	温度
処理前	3.34	0.58	0.78	1.20	0.081	1,400°C
後	1.45	0.01	0.02	0.16	0.059	1,470°C

O₂ 効率: 87% Fe 歩留: 86%

7. 混鉄炉における予備精錬

BRANDT²⁰⁾ は予備精錬炉に O₂ を用いて脱 Si する方法を実験しつぎのように報告している。効率は取鍋の場合と大差ないがやや良好である。しかし大容器にランスを設備する場合には構造的な問題がある。また脱 Si を充分に行なうには吹込みを長時間行なう必要があるが、予備精錬炉からの出入鉄のため作業が中断されるので、脱 Si 作業は比較的小パッチの連続で行なう他はない。スロッピングや煙の問題があり、耐火物の寿命に影響がある。Barrel 型混鉄炉に O₂ ランスを用いること

は、生成物である煙やスラグの出口がないので不適当である。

混鉄炉での脱 Si: 釜石製鉄所³⁹⁾において 400 t 混鉄炉で O₂ 吹込みを行なつたが、O₂ 圧 3 kg 以上なら表面吹きでも充分効果が得られ、浸漬吹込みは圧力が低いとランスの消耗が多く、高圧では湯が飛散し危険であつた。

表面吹きは 15 mm φ の水冷パイプで湯面上 10~20 cm から 4~5 kg の圧力で行ない、流量は 400 m³/h、純度 95.5%、O₂ 使用量は 1~5 m³/t であつた。結果としては O₂ はほとんど Si, Mn と化合し 熔鉄中の 0.72~1.05% Si は 0.05~0.35% 減少し、O₂ 歩留は 60~80% と考えられる。O₂ 1 m³/t で 熔鉄温度は 100°C 上昇し、5 m³/t でスラグの流動性が良くなるが、slag line が損傷する。生石灰を添加すれば 3 m³/t までは耐火材の損傷が見られない。

欠点としては、珪石天井が熔損し寿命が短縮する。

英国で²²⁾ 250 t 混鉄炉で行なわれた実験では 0.75~1.6% Si の 熔鉄に O₂ を吹込み、0.4% Si に低下した。O₂ 使用量は 4.18 m³/t で効率は 82.5%、径 1 in のランス 2 本で 34 m³/mn の O₂ を吹込んだが炉にはなんらの損傷をおよぼさなかつた。工場の条件が許すときは、混鉄炉で脱 Si を行なうのが最もよいと考えられるとし、前記 BRANDT とは異なつた見解が述べられている。

予備精錬炉での添加物による予備精錬: J. L. Scunthorpe 工場で 250 t 予備精錬炉に 1 in φ のランス 3 本で O₂ を 1,460 ft³/mn の割合で 65.5 mn 間吹込み石灰石を添加した。熔鉄の成分変化はつぎのようであつた。

	C	Si	S	P	Mn
吹精前	3.50	1.65	0.053	1.14	1.74
後	3.22	0.52	0.039	1.14	1.42

この処理鉄をさらに熔鉄を追加し、1,200 ft³/mn の速度で追加吹込を 5 日間行なつた。吹込時間は追加熔鉄量と Si% に応じて変化し、9.5~68 mn であつた。熔鉄の Si は 0.19~0.61 の範囲で減少した。

蒸気併用の試験をも行なつたが、ランスは 1 in φ 2 本で行なつた。O₂ 吹込量は 0.25% まで脱 Si するのに 96 ft³/t であつた。

理論的必要 O₂ 量は 77 ft³/t なので、その効率は 鉄石 (4 t) 石灰石 (5 t) あるいは解離した蒸気からの O₂ を差引くと 79.8% であつた。温度上昇は 60°C、スラグ成分は 34~35% SiO₂, 30~35% CaO, 4.7~6.8% FeO

であつた。

8. 平炉による脱 Si^{22,39)}

印度タタ製鉄所で予備処理に平炉 1 基を充当した。装入口からランスによつて吹込み断続的にタップしたが、25 日間に 106 回の脱 Si を行ない 1 回当たり 48 t の熔鉄を処理した。鉄鉱石を 57 kg/t、O₂ は 2.7 m³/t で圧力は 90~100 psi であつた。Si は 36 mn 間に 0.88~2.20% から 0.24~1.5% に減少した。O₂ 効率は Si% によつて変化し、2.20% では 85%、0.88% では 65% であつた。

9. 電炉による脱 Si⁴⁰⁾

電炉操業では熔鉄配合が 50% 以上では高 Si% が障害になる。精錬末期のスラグ中の SiO₂ が平均 15% とすると、50 t の熔鉄装入では 0.1% Si 当りのスラグ量は 1,500 lb となる。したがつて装入前に熔鉄が脱 Si されれば炉内に生ずるスラグ量はいちじるしく減少される。これに比例してスラグ中の 12~20% FeO の排出も減じ歩留の向上、電力低下となる。しかしながら、熔鉄の脱 Si は有利なように見えるが、今日まで熔鉄 75% のような高配合の実績もないので脱 Si の効果は予想に過ぎない。

WRIGHT³⁹⁾ によれば、4% C, 1% Si の 熔鉄を 30% 以上使用すると屑鉄と一緒に大量の鉄石、石灰石を装入し 熔鉄注入前に熔解させなければならない。小容量の電炉では C と鉄石、石灰の反応によつて生ずる大量の CO ガスを発生して、調節不能な程度に激しい沸騰を起す。最近建設された 75~150 t の電炉が普通低炭素鋼の製造に平炉と競争し得るようにするには、多量の半鉄を使用すべきである。としている。

しかし実際には大規模な使用実績がないので両者の生産費の比較は困難である。

10. 新型予備精錬炉と電炉の合併操業⁴¹⁾

Brimbo 製鋼工場では最初に石灰粉と O₂ を取鍋に吹込んで予備精錬を行なつていたが²⁰⁾、新型の予備精錬炉を建設し、電炉との合併操業を行ない、前記の欠点を除いた。

予備精錬炉は hearth 部の直径は 16 ft で、傾注式でドロマイトの塩基性ライニングを施し、天井は高アルミナ煉瓦を使用した。廃ガスは炉に接続した水冷ダクトで排出される。水冷ランスを装入口から挿入して O₂ と石灰粉を吹込むが、また天井からも水冷ランスを挿入する。O₂ 使用量は 800 ft³/mn でランスによつて直接熔鉄中にも吹き込む。成分の変化は Table 12 のごとくであつた。予備精錬時間は 1~1.5 h であるが、成績はつ

Table 12. 予備処理による成分変化.

	熔 鉄	処 理 鉄
C %	4.15	1.68
Si %	0.47	tr.
S %	0.048	0.04
P %	0.63	0.036
Mn %	0.85	0.14

ぎのようであつた. すなわち 620 回で 13,000 long ton を処理したが, O_2 使用量は $1,000 \text{ ft}^3/\text{t}$ で効率は 100% 以上, Fe 歩留 93%, 温度上昇は 150°C であつた. この半鉄を 40~45% 配合で電炉に装入した操業では (全装入量 45 t) tap-tap の時間は 4.5 h で 10 t/h の生産率を示した.

電炉に高配合の半鉄を用うことは上記の例に示すように, 生産率の増加と生産費の低下に平炉の場合と同様に効果を挙げ得よう. しかし実際には大規模な使用実績が乏しいので生産費の比較はなお不確実である.

11. Tapping spout 法⁴²⁾

ソ連では tapping spout convertor を研究しているが, 75ftの長さの筒形樋を平炉の受鉄口前に取付けるが, 樋は受鉄器と精錬帯の両者から成り精錬帯では熔鉄が流入する間に予備精錬を行ない, P. V. の除去, C の低下を図っている. O_2 使用量 $5,650 \text{ ft}^3/\text{mn}$, 圧力は 7~15 気圧, 生産率は 1.8%C のものが 3~4 t/mn である. なお O_2 ノズルは長さ 1 m 当り 5 個を設ける. 本方法は着想としては非常に興味があるが, 未知数である.

V. 平炉製鋼における O_2 の利用

平炉に対する O_2 の利用としては, 炉内空気の富化を目的とするバーナーまたは裏壁からの助燃, 蓄熱室での二次空気の富化法と, 浴中に直接吹込みあるいは天井からの噴射による熔解促進の山崩し (ライムボイルを含む), 脱炭促進のためのベッセマライジングの方法などがある.

この中最も広く用いられているのはベッセマライジングで, 製鋼能率の増進と低炭素鋼の熔製に多大な貢献をなしている.

1. O_2 の合理的使用法

a) 山崩しと助燃: 八幡製鉄所⁴³⁾で 137 t 装入平炉で鉄配合 $61 \pm 2\%$ で低炭リムド鋼の熔製で試験を行なった結果をつぎに示す.

i) $10 \text{ m}^3/\text{t}$ (ベッセマー用を除く) 以下の O_2 使用量では熔解期の山崩しは装入期の助燃よりきわめて有効で

Table 13. O_2 使用法別成績

O_2^* m^3/t	用 法 別	t / h	燃 料 (10^4 Kal/t)
5	A B	16.0 17.8	75.2 66.8
10	a A B A+B	17.2 18.8 19.2	73.4 58.6 62.5
	b C B C+B	17.5 18.8 19.5	69.6 58.6 62.2
15	A ($10 \text{ m}^3/\text{t}$) + B ($5 \text{ m}^3/\text{t}$) B A ($5 \text{ m}^3/\text{t}$) + B ($10 \text{ m}^3/\text{t}$)	18.5 19.5 22.8	61.1 57.5 52.0

* ベッセマライジングを除く

A 装入期の助燃

B 熔解期の山崩し

C 受鉄迄の屑鉄熔解促進

ある.

ii) $15 \text{ m}^3/\text{t}$ では山崩しは単独よりもこれを主体とする (約 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 程度) 助燃の併用が効果的である.

ただし試験において別に各チャージごとにベッセマー用 O_2 を $200 \sim 250 \text{ m}^3/\text{ch}$ を圧力 $4 \sim 7.5 \text{ kg/cm}^2$ で使用した.

熔落 C は $0.80 \pm 0.30\%$ であつた.

b) ライム・ボイル: 釜石製鉄所⁴⁴⁾では O_2 が充分でないので lime boil に重点を置いているが, 熔解促進の有利なことは一致している. しかし他の用法では異なつた結果を出している. すなわち熔解期中, 装入石灰石が分解浮上して滓化する時期は吸熱反応なので脱炭熔解が遅れる.

この時期に O_2 を直接鋼浴に吹込み, 浴の攪拌により昇熱熔解促進を行なう. 効率としては lime boil が最も良く, ついで bessemer, 助燃の順としている. lime boil の O_2 は $1 \text{ m}^3/\text{t}$ 当り, 約 3 万 kcal に相当し, bessemer ではその 1/2, 助燃は 1/3 以下である.

c) O_2 量と製鋼能率: 広畑製鉄所⁴⁵⁾で実装入 210 t の C ガス重油混焼, 傾注式炉で O_2 使用を開始して以来の実績を示すと Fig. 10 のように, 使用量の増加とともに製鋼能率のいちじるしい向上が見られる. 使用法別の効果については 1957 年 12 月以降 200 charge の結果, つぎのように結論している. すなわち lime boil は最もいちじるしい効果を有し, ベッセマーはこれにつぐ. ルーフバーナーの効果は特に炉況が比較的不良で熱

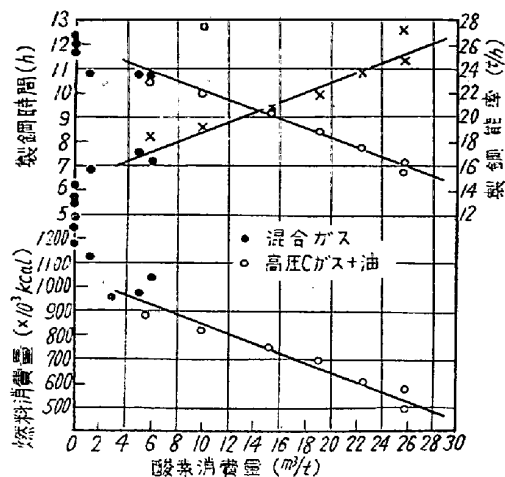
Fig. 10. O₂ 使用量と操業成績

Table 14. 使用法による酸素の効果

	製鋼時間 (mn)	製鋼能率 (t/h)	燃 料 10 ³ kcal/t
Lime boil	-15	+0.5	-30
Bessemer	-10	+0.4	-15
Roof burner	-5		
全 O ₂	-10	+0.3	-20

上りが良好でない場合にその効果が発揮され易い。助燃については特に明確な効果が現われていないのでさらに検討を要する。O₂(m³/t)の使用量による作業能率への効果は Table 14 のようである。O₂使用量は平均 26 m³/t であった。

ここにルーフバーナーとは 20mm φ 水冷ランスで、O₂をスラグ面上 1 m の高さから 7~9 気圧で吹付けるが、前装入終了後 30 mn から開始する。

以上の結果から作業能率の向上には炉況の許す限り、lime boil を強化することが最も効果的である。なお後装入時間を短縮し lime boil の O₂を増加すると全 O₂量は比較的少なくて効果はいちじるしい。

リムド極軟鋼精錬⁴⁶⁾で、大量 O₂使用の場合、その実施回数は少ないが、銑配合 71% 前後、25 m³/t O₂で、31.5 t/h、燃料 50.8 万 kcal/t に比して、40 m³/t O₂では製鋼能率は 54.5~64.8 t/h、燃料原単位は 10.8~19.5 万 kcal/t に低下した。良塊歩留は 90.7% から 83.3~89.6% に低下した。

2. O₂ 富化⁴⁷⁾

ソ連では平炉への O₂利用は広く行なわれて、1957 年には O₂製鋼による鋼塊生産は 1,000 万 t 以上といわれ、flame を富化する方法が全工場で採用されている。O₂富化方法は重油炉では燃料ジェットの下からバーナーに供給する。混合ガス炉では炉端のガスポート側壁に水冷ランスを設置して O₂を吹込む。純度は約 95%、

圧力は 6~9 気圧で装入開始から熔落完了まで供給する。

Zaporozhstal 工場では混合ガス燃焼の 200 t 平炉で銑配合 65~70% 操業の場合、生産率は 17~20% 増加し、燃料原単位は 35 m³/t O₂で 15% 低下した。

Azovstal 工場では混合ガス燃焼の 370 t 傾注式炉で高 P 銑配合 73~75% 操業の場合、O₂使用量 35 m³/t で生産率 19% 増加、燃料原単位は 6% 低下している。

Nizhng-Tagil 工場では 370 t 固定式炉で銑配合 70%、25~30 m³/t O₂で生産量は 20% 増加、燃料原単位は 18% 低下した。

英国の Consett Iron Co.⁴⁸⁾ではポートに 1 in φ の水冷ランスまたはパイプを取付けて O₂富化を行なった。従来 80 t 容量の平炉を改造し、蓄熱室も一部拡大したが、燃焼用空気が不足であった。

屑鉄 120 t、熔銑 50 t または屑鉄 80 t、熔銑 50 t、半銑 45 t の semi-duplex charge において、80 万 ft³/h の空気に対し 30~40 万 ft³/h の O₂を富化した。結果において生産率は 25% 増加し、燃料消費量は 15% 低下した。天井寿命は約 6% 低下したが、良質の塩基性天井の採用によつて、短縮を防止し得ると考えられる。

3. O₂ の鋼浴吹込み⁴⁹⁾ (Ajax 炉)

Appleby Frodingham 工場では 1950 年に先ず助燃用に O₂使用を開始したが、当初は装入口から炉内にランスを挿入し鋼浴に吹込んだ。数次にわたる試験の結果、220 t の傾注式平炉を Ajax 型に改造した。

廃ガス量を最小にするため、空気の侵入防止に注意を払い、O₂吹精用水冷式ランスを炉端から挿入した。ランスは鋼管で外側を鋼管で包みこれと外套管との間の、冷却水の通路となる軟鋼の中間パイプから構成され、移動台によつて機械的に出入させる。C ガスバーナーは炉の傾動部の各コーナーに取付け、バーナーは必要によつて助燃 O₂を吹出す。塩基性の天井を採用し、その他蓄熱室、鋼滓室も改造した。なお特に異なっているのはポートに蒸気用の小ジェットを挿入し、天井の冷却を行なっている点である。すなわち鋼浴から発生する CO ガスを理論空気量を用いて燃焼すれば天井温度はきわめて高い値になるが、過剰空気によらず蒸気を空気の流れに添わせて天井温度を下げるのである。

1 年間の操業成績を従来の平炉と比較すると Table 15 のようである。

表から知られるように炉修理は頻繁であるが短期間で終了するので、比較的一定した生産高が期待できる。

吹精に用いる O₂は 27 m³/t で残余は助燃用である。

Table 15. Ajax 炉の操業成績

	珪石天井	塩基性天井	Ajax
鋼生産高 %	100	111	140
一週間当生産高 (年間)	2600	2889	3623
生産高/52週)			
炉稼働率 %	90	90	84
鋼塊歩留 %	90	90	87.2
銑配合 %	83	83	99
銑石 kg/t	111.5	111.5	79
石灰 kg/t	10.5	10.5	26.5
石灰 kg/t	72.5	72.5	27.5
酸素 m ³ /t	4.3	4.3	37.3
燃料 10 ³ kcal/t	1134	1184	277

すなわち混銑装入終了後直ちにランスによる O₂ 吹込を開始するが、この際燃料の C ガス、助燃 O₂ を遮断する。天井の損傷はもちろん O₂ 量によるが、ノズルが湯面に近すぎても大となり、またノズルの寿命が短くなる。ランスの寿命はバラツキが多く 1 heat から 1 週間位であった。

熔銑のみの操業で平均 51.8 t/h 程度の能率を示し炉の稼働率は落ちるが、生産高は従来の場合に比して 25% 増になつてゐるのは注目に値する。

全熔銑操業⁵⁰⁾: 前項に Ajax 炉で全熔銑操業を行なつた例を示したが、室蘭製鉄所では実装入 200 t の従来の傾注式平炉で熔銑 195 t 装入による操業を行なつた成績が報告されている。屑鉄は使用せず石灰石、鉄鉍石を装入後直ちに受銑し、その 2/3 が注入されたとき炉前から 3 本または 4 本の 3/4 in ランスで 1,600 Nm³/h, 8 kg/cm² の圧力で 70% 低純 O₂ を吹込み、鉍石追加時を除いては出鋼直前まで通入を続けた。操業状況は鋼滓量が多く、特に受銑直後のフラッシュラグが多かつたが作業遂行には支障はなかつた。操業成績は Table 16 のようである。熔銑の Si は 0.55~0.75% で、O₂ 通入開始後 40~60 mn で鋼浴の Si は 0.050% 程度に低下した。P は熔銑で 0.26~0.40% あつたが O₂ 通入と

Table 16. 全熔銑操業比較

操 業 要 項	全 熔 銑	普 通 法
熔 銑 t	195	64.3
使用鉍石 kg/t	194.9	98.3
石灰石 //	61.9	55.4
石灰 //	22.9	14.6
O ₂ m ³ /t	24.9	5.3
製鋼時間 h/mn	5°33'	9°09'
製鋼能率 t/h	33.4	19.3
製出鋼歩留 %	98.8	97.1
良塊歩留 %	95.1	92.7
燃料 kcal/t10 ⁴	43.4	81.8

普通法は試験後の O₂ の少い 1 月分を示す。

もに急速に脱 P され、熔落時までに 0.050% となり出鋼までに 0.010% まで低下した。このことは Ajax 炉でも脱 P が容易であると強調している点と一致する。

試験回数が少ないので正確にはいえぬが大量 C の効果はつぎのような傾向が確認された。

製鋼能率の飛躍的な向上が期待できる。歩留は使用鉍石量が多量なため見掛け分は向上する。トランプエレメントの管理が容易になる。高炭素鋼の熔製も可能と思われる。しかし炉体への影響は今後の検討に待たねばならぬ。

4. 天井ランスによる吹込み

Steel Co. of Wales の Abbey 工場⁵¹⁾⁵²⁾ で、平炉天井中央にクロマグ煉瓦のリングをはめ水冷の内径 1 in 鋼管で流入速度 1,133~1,670 m³/h で鋼浴面に O₂ を吹付けた。0.35% C で開始し、0.06~0.07% まで 140 mn から 33 mn に短縮できた。このように製鋼時間の短縮に効果はあるが、スプラッシュが激しいのでバス C は 0.40% 程度が適当としている。

Abbey 工場では⁵³⁾ 現在 200 t 炉に天井ランスを設け、熔落後 0.50% C の頃に 40,000 ft³/h の流速で O₂ を吹込み、脱炭の進行に伴ない 60,000 ft³/h に増加する。0.05% C の薄鋼板用鋼では吹込みによつて 95 mn 短縮できる。精錬時間は平均 1/3 に短縮され脱 S も促進されている。

同型式の平炉 (250 t) が Canada Steel Co. にも建設され、153 ft³/t (4.3 m³) の O₂ 使用量で製鋼時間 (Tap-Tap) は 45 mn 短縮し、燃料原単位も約 10% 低下した。

Weirton Steel Co.⁵⁴⁾ では 3 本の天井ランスで 86% の半銑と屑鉄装入で 535 t の heat を 100 t/h 以上の能率で精錬した。O₂ 消費量は 25.5 m³/t で中 20 m³/t は天井ランス、5.5 m³/t はバーナーから助燃用に吹込んだ。

U. S. Steel の Gary 工場⁵⁵⁾ では傾注式平炉の天井 2 カ所に水冷リングを通してランスを挿入して試験を行なつた。当時 Gary 工場の No. 2 O. H. 工場ではベッセマー転炉による予備精錬鋼を傾注式珪石天井平炉で精錬していた。

これに対し銑配合 74% の 190 t 装入で屑鉄装入後天井ランスで 1 本当り 566 m³/h の O₂ 吹込を開始する。熔銑注入中は O₂ を止め半時間後出鋼まで O₂ を吹込む。試験結果はつぎに示すごとく予備精錬併用に比しいちじるしく低下している。

良塊歩留は 2.1% 低下。生産率は 50% 低下一年間生

産予想 50% 低下。炉の修理、維持費はいちじるしく上昇し、少なくとも倍になる。燃料費は mn 75% 増加、鋼塊生産費は工場全体の生産減によりいちじるしく上昇した。

以上の結果から Gary の 2 号平炉に最新型の固定式平炉を計画した。その概要はつぎのようである。

炉容量～380 t, 塩基性天井

O₂ 使用 a) 助燃用 バーナーで空気富化

b) 脱炭用 2 本の天井ランスで吹込む。

助燃用 O₂ は 566 m³/h で 2・5 h, 天井ランスは熔銑装入後同流速で吹込む。製鋼時間は Tap-Tap で 8 h, 42 t/h。

Fairless 工場では 1958 年に上記の炉と同容量塩基性天井の炉で試験を行なった。天井ランスは熔銑装入後 O₂ 通入を開始し、所要 [C] になるまで吹精する。吹込速度は同じく 20,000 ft³/h であった。

天井寿命	平均装入量	Tap-Tap	製鋼能率
368 回	190・3 t	7°59'	43・04 t/h
熔銑比	稼働率	燃料	O ₂ 消費量
0・735	85・5%	2,350 10 ⁶ BTU/t	439 ft ³ /t

ソ連では Zaporozhstal 工場⁴⁷⁾で 1951 年に水冷式ランスを天井から挿入して O₂ 吹込みを行なった結果、200 t および 500 t 炉に正式に採用されている。ランスは 2 本でノズルは鋼製で鋼滓と鋼浴の境に吹込むが、平均寿命は 110 回である。この方法は固定式平炉に有効で現在相当数の平炉、電炉が天井ランスの装置を付けている。ただし Azovstal 工場は傾注式なのでランスは裏壁を通して

いる。FeO の形でスラグに入る Fe の損失は出鋼歩留りに関係するので問題であり、結果的には脱酸剤の消費増加となる。ランスを浸漬しなければ鋼滓中の FeO が増加する。

吹込操作は 0・12% C 以下の鋼種に行なっているが、熔落前には flame に O₂ を吹込み、C が 0・4～0・5% の頃鋼浴に吹込み、0・08～0・10% C で脱酸前まで継続する。その間燃料供給を制限する。O₂ 吹込み中の平均脱炭速度は 0・35～0・45% C/h ないし 0・6～0・7% C/h である。製鋼時間は 25～40mn 短縮されるが O₂ 使用量は 5～6 Nm³/t で、生産能率の増加は 4～6% である。ただし O₂ 吹込みにより炉の寿命が短縮するので高炭素%の鋼浴には使用しない。

5. Back wall gun⁶⁾³⁸⁾

Steel Co. of Wales の Margam 工場では O₂ gun の機械的出し入れに最も都合の良い位置を調査して、裏

壁から挿入して O₂ 吹精を行なった。ノズルの先端は鋼浴に向つて下向きに曲げられており、gun 自体は外径 4 1/2 in の鋼管で裏壁の挿入孔は spiral cooler を備えている。

吹込は圧力約 10 kg/cm², 速度 850 Nm³/h で、熔落直後または熔落直前に開始した。C% は 0・5% またはそれ以下であった。吹精中の gun の位置はスラグ上 4 in で、この位置は最高の O₂ 効率と最低の splash 発生の理想的な位置と考えられる。

Margam では 0・06% C, 0・025% S の鋼板用鋼, 0・025～0・030% C の珪素鋼を製造するため脱 C に O₂ を用いて効果を挙げている。O₂ 吹込中燃料の供給は 1/2 以下に絞るが、鋼浴温度によつて異なる。O₂ 吹精前の鋼浴温度は 0・40～0・50% C の場合 1,530～1,540°C が理想的で、約 40 mn の吹精によつて 0・05% C になり温度は 1,580～1,585°C に上昇する。製鋼時間は 0・06% C のリムド鋼で 27～35 mn, 0・30% C の珪素鋼で 75 mn 短縮された。

Azovstal 工場では精錬期に鋼浴に O₂ を吹込むのは高 P 銑の場合のみである。鋼浴温度が低くスラグ層が厚いので廃ガス中のダスト量は普通銑の場合に比して 1/2 程度である。O₂ の鋼浴吹込量 5～7 Nm³/t で生産量は 5～9% 増加し、燃料原単位は 9～10% 低下した。

6. 水添加による O₂ 吹込

鋼浴炉の O₂ 吹込みにいて水を添加するとダストの発生が軽減されることを前述したが、一方ランスパイプの消耗、反応の強化が得られる。

室蘭製鉄所⁵⁷⁾で 210 t 装入傾注式平炉で水添加 600 l/h (対 O₂ 重量比 0・3) の試験を行なったがつぎのような結果が得られた。すなわちランスの消耗量は無添加に比して、生パイプで 1/7, カロライズドパイプでも 1/2 以下に減少した。

Table 17. 水添加成積

平 炉 別	No.1 O.H.F.		No.4 O.H.F.	
	水添	水なし	水添	水なし
鉍石量 kg/t	47・2	55・2	19・4	27・3
装 入—出 鋼	5°22'	5°52'	5°38'	6°13'
銑 配 合 比 %	80・2	79・7	69・6	71・3
O ₂ m ³ /t	27・1	30・6	29・9	30・0
燃料 10 ⁴ kcal	30・5	31・7	39・8	38・3
製鋼能率 t/h	36・5	34・6	35・5	32・2

製鋼時間は 20～30mn' 短縮するが歩留は 1～2% 低下する。これは主として使用鉍石の減少によるためであるが、鉍石は全使用量で 8 kg/t 減になつており、水によ

る反応促進効果の結果であろう。鋼滓室のスラグ堆積量は従来の約2倍になり部分的にも Fe rich になる。炉体損耗の点では大天井、鋼滓室が激しく、煙塵の減少も左程いちじるしくなかつた。

鶴見製鉄所⁵⁸⁾では 70 t 装入平炉に O_2 とともに水蒸気を重量比で 0.2% 程度吹込んだが、その結果熔鋼と O_2 の反応による温度上昇を防ぎダストは一般に低下し、噴塵は水蒸気割合が増す程淡くなる。製鋼能率上望ましい重量比 0.2 前後でも噴煙濃度は僅か軽減される。この程度の添加で鋼浴の攪拌、沸騰に有利となり製鋼能率も増進する。ランスの消耗量は重量比 0.3 以下でも 1/2 ~ 1/3 に減少する。

極軟低炭素鋼の製造においてはいずれの場合も材質におよぼす H_2 の影響は特に認められなかつた。

7. O_2 の効率

Hodge⁵⁹⁾ は O_2 バランスを調査したが、反応に必要な slag 中の FeO 、鋼浴に溶解している O_2 も計算に加えたのが Fig. 11 である。図において 0.05% C では吹込 O_2 量は鉱石と霧囲気から入る O_2 量とほぼ同量である。C と反応する O_2 は吹込量の約 1/10 で、 O_2 吹込量と脱 C 量が相等しいという考え方は誤つていることを示している。

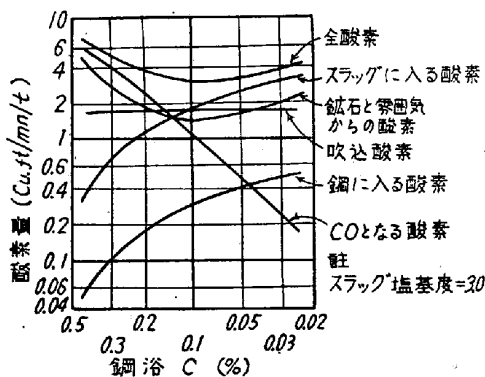


Fig. 11. 脱炭反応時の平炉鋼浴の [C] と O_2 バランス

また、低炭素鋼の精錬にあつてはスラグ量を最低に保つことが重要なことを示している。(図ではスラグ量は 170 lb/t となつている。)

小倉製鉄所の実験結果では⁶⁰⁾、 O_2 吹込量は $0.04 \text{ m}^3/\text{t}/\text{mn}$ 程度の少ない場合でも、 $C < 0.10\%$ では効果は相当顕著である。しかし O_2 の脱 C 効率を求めると 50% 程度である。

O_2 吹込みを行なつている時は沸騰のため霧囲気からの自然酸化量は増えそうであるが反対である。その理由は発生した多量の CO 気泡がスラグ層を通して上昇し、その表面で燃焼する CO 気泡の還元作用によるものであると報告している。

8. 鉄バランス⁶¹⁾

平炉での O_2 製鋼によつて、鉄鉱石の使用量が減少するので見掛けの良塊歩留は低下するが、鋼滓への鉄損、ダストロスが急増する傾向がある。広畑製鉄所の実装入 210 t の傾注式平炉で、C ガスと重油混焼、全塩基性炉の場合に調査した鉄損失はつぎのようであつた。

鉄配合 70%, O_2 使用量 15 および $30 \text{ m}^3/\text{t}$

イ) 鋼滓発生量は O_2 使用量の高い方が平均して 5 t 程度少ない。

ロ) 鋼滓中の T. Fe% は仕上鋼滓については O_2 使用量が多い方が高いが、溢出鋼滓については粒鉄損失が大きいので明瞭でない。

ハ) 粒鉄損失は現状では O_2 使用量よりも作業条件に強く支配される。

ニ) 鉄バランスを作製した結果、 O_2 使用量 $30 \text{ m}^3/\text{t}$ のリムド鋼では鋼滓による鉄損失は 5.1% である。

9. 耐火物

O_2 の使用により、天井の損耗度が大きくなり鋼浴に吹込んだ場合は最もはなはだしい。過渡的にはゼブラ天井が採用されたが O_2 使用量増加に伴ない全塩基性煉瓦が効果的なので、現在では天井を全塩基性の吊天井とし、損傷部のパッチ当て部分修理を行なうのが普通である。

KESTERTON⁵³⁾は鋼浴への O_2 吹込みはさらに推進されるであろうが、塩基性天井と格子積の効果的なダスト除去法、および廃ガスの収塵装置の発達が必要であると述べている。

塩基性天井の構造について八幡製鉄所⁶²⁾で 1957 年に 60 t および 120 t 固定式平炉で 2 種の不焼成ケースド煉瓦の実験をした結果はつぎのようである。

A 社 Mg-Cr 系煉瓦 吊および押え式

B 社 Cr-Mg 系煉瓦 吊のみ

	A		B	
平 炉 No.	S-5	K-7	T-7	
容 量 t	60	120	60	
天井寿命 回	458	369	420	389
O_2 使用量 m^3/t	19.2	13.6	11.5	14.6

天井は吊および押え方式が安定な構造と考えられる。一般にゼブラ標準炉に比して 2 倍程度の寿命が見られるが、 $20 \text{ m}^3/\text{t}$ O_2 以上の大量となつた場合その差はさらに大きく、効果も顕著となつている。

鋼滓室堆積のスラグは T-7 の場合はその結合が弱く除去が容易であつたが、化学成分もゼブラ炉とは違いを示した。K-7, S-5 は違いが見られなかつたが原因は明らかでない。

up take についても⁶³⁾ Double uptake-Venturi 型から single up take で小天井を flat に改造した。その結果、ガスの流れが合理的で炉体の損傷も少なく、flat にすれば天井吊金具の点でも有利であつた。また、炉端部の煉瓦積の使用量が従来に比して約 50 t 減少した。

前壁部は天井に super zebra 型を採用すると同時に、丸型の水冷タンクを各扉間に 2 コずつ計 8 コ挿入したが、前壁寿命は設置前の平均 107 回に比して約 2 倍になつた。

塩基性天井に押えと吊りの併用は和歌山製造所⁶⁴⁾でも成功している。110 t 装入固定式炉の冷銑操業で O_2 $9 Nm^3/t$ 前後の使用であるが、cutting と bessemerizing を主とし珪石天井で O_2 $4 Nm^3/t$ 使用の場合に比して、天井寿命は約 250 回から 330 回に延長した。塩基性天井では装入口上部の冷空気による温度変化の最大部位はかなりの損耗が認められるが、これは煉瓦内部にも鉄板を埋めこむことにより、ある程度防止できる。

Zaporozhstal 工場では、マグクロ煉瓦の吊天井を用いまた銅滓室天井も同種の煉瓦を採用して 1957 年の実績では助燃のみでは 498 回、銅浴吹込みの併用では 466 回の寿命を示している。

クシュヴィンスク工場⁶⁵⁾でも不焼成クロマグの吊天井は 400~450 回以上の寿命を持ち、平炉天井用としては全く満足すべき材料と考えられている。(炉容 100 t 以下)

O_2 吹込みではギッター煉瓦の熔損、目詰りも問題であるが、Consett⁴⁸⁾では上部 6 段またはそれ以上を 53~54% アルミナ煉瓦を採用して防ぎ得ている。

広畑製鉄所では上部 10 段を塩基性として 200×200 mm 目を採用している。

釜石製鉄所のように O_2 使用量 $15 m^3/t$ 以下の場合でも、上部 5 段に塩基性煉瓦を用い 165 mm 角の格子目を採用している。

八幡製鉄所では 25 段中 5~10 段をクロマグ、以下をシャモット積みにし煙突積方式で 220 mm 角の目に拡大している。

Appleby 工場⁴⁹⁾では異なつた方式を採用しているが、最初はギッター損傷防止のため上部 2/3 にマグネシア煉瓦を用いたが、急速に汚損するので珪石に換え、3 日ごとに圧風ランスで掃除を行ないマグネシアより良結果を得ている。

10. 総 括

米国では O_2 の使用増加によつて熔銑の大量使用が可能になつている。屑鉄装入量は 25% で充分であり、return scrap のみで供給可能である。 O_2 使用量は益々増加の傾向を示しているが、原価面におよぼす影響としては $30 m^3/t$ の O_2 使用により、3.3% の原価低下となる。鋼塊生産量増加の目的で投資する場合、平炉を増設するよりも酸素発生機を設置する方が 5.5 倍の投資効果があるといわれている⁶⁶⁾。

ソ連においては平炉屑鉄法に O_2 を使用する場合、空気の O_2 富化に重点を置いている。 O_2 使用量を $32.5 m^3/t$ とした場合、珪石天井炉で燃焼空気を 26~27% 富化すると生産性は 22~48% 増大し重油の消費量は 20% 減ずる。塩基性天井炉では 28~30% まで富化して生産性は 20% 向上すると述べている⁶⁷⁾。

ソ連のアンドレーエフ¹⁷⁾によれば平炉で O_2 を使用する最大の利点は炉の生産性向上と、主として燃料消費量の減少による鋼の原価低減である。現場の経験の示す処では、炉の生産性が 20% 以上増さなければ現在の O_2 製造費では鋼生産原価は安くない。

O_2 の使用と製鉄所の O_2 工場建設に対する出資は有利である。 O_2 原価が 11~20 カペイク/ m^3 の場合、鋼の生産増加 t 当りの O_2 工場建設費は平炉の拡張より 3~10 ルーブル少ない。

炉の熱効率⁴⁷⁾を増すために火焰え O_2 吹込が装入開始から熔落まで行なわれているが、空気富化は 25% 以下である。 O_2 使用量 $25\sim35 m^3/t$ で生産率は 17~20% 増加し、燃料の節約は 10~15% である。

鋼浴の直接酸化は 0.12% C 以下の鋼種に行ない天井からの吹付けが最良である。 O_2 使用量 $5\sim6 m^3/t$ で平炉生産率は 4~6% 増加し、同程度の燃料節約となる。天井ランスは現在使用されている傾注式平炉における高熔銑配合で、 O_2 吹精を行なうことは不適當で、塩基性天井を持つた固定式平炉に天井ランスを用うることによつていちじるしく生産性を向上することができる。米国では平炉への O_2 利用は天井ランスが主体となりつつあつて、脱炭にいちじるしい効果を有することは明らかであるが、一方スプラッシュによる天井寿命の減少、歩留低下に問題があり、ランスの径、ノズルの角度、吹付圧力、天井の高さなど今後なお検討の余地がある。

(以下次号)