

特 別 講 演

酸素と製鉄上の二、三の問題*

遠藤 勝治郎**

SEVERAL PROBLEMS ON OXYGEN PRACTICE IN IRON AND STEEL MAKING

Katsujiro Endo, Dr. Sci.

Synopsis:

Application of oxygen to iron and steel making is discussed on the basis of its general trends in Europe and America as well as experiments carried out in Yawata Iron & Steel Works, concerning a low shaft experimental furnace, open hearth furnaces and an experimental converter.

In the low shaft furnace were examined effects of raw material size, oxygen percentage in the blast, etc. on the furnace conditions. It was found possible, as one of the results, that under an adequate condition pig iron for steel, that for foundry, ferro-manganese, etc. could be produced even with a weak coke.

As is universally known, in the open hearth furnace, application of oxygen resulted in cutting melting hour and fuel rate.

A 5-ton top-blown converter was operated, for production of various sorts of steel. Among its fruitful results it was found that by blowing-in highly pure oxygen the nitrogen in steel was diminished to as low as 0.003 per cent, and this stands comparison with that of open hearth steel.

The property examination conducted in various aspects of the steel thus produced showed that it could compete with the open hearth steel satisfactorily and that P as well as N content had a remarkable effect on the properties of the converter steel.

The further improvement of quality of the converter steel should be expected through the betterment of practice.

- I 緒 言
- II 製鉄作業における酸素の利用
- III 平炉における酸素の利用
- IV 転炉における酸素の利用
- V 酸素上吹転炉鋼の材質
 - 1. 成分について
 - 2. 引張試験
 - i) 降伏点と引張強さ
 - ii) 伸びと引張強さ
 - iii) 引張強さにおよぼすP%の影響
 - 3. 衝撃特性
 - i) P%の影響
 - ii) N%の影響
 - 4. 捻回試験
- VI 結 言

いうまでもなく製鉄は高温作業であるが、この高温を得るためには現在のところ、主として経済的見地から燃焼反応が利用されている。したがって酸素は助燃剤としてここに大きな役割をもっているわけである。たとえば製鉄は1,400°Cという高温作業であるとともに還元反応であり、製鋼はさらに高温における作業であるとともに酸化反応であつて、酸素はここでは酸化剤としての役割をも果している。しかしこの酸素は従来は空気あるいは鉄鉱石の形で使用されていたのである。空気は無制限に利用し得る利益はあるが、一方1/5の反応酸素とともに4/5にも達する窒素が存在するために輸送、圧縮、加熱等における不経済だけでなく大量の熱損失の原因となり高能率を発揮するさまたげとなつていた。また鉄鉱石で

* 昭和 31 年 4 月本会第 51 回講演大会に於ける特別講演

** 八幡製鉄所技術研究所長、理博
第 26 回服部賞牌受領者

I. 緒 言

は含有不純物、温度低下等の不利益もあり、酸素を富化するかあるいは直接使用することが古くより研究されてきた。たとえば 1925 年頃には酸素富化空気が転炉¹⁾に使用されシャフト炉に試験的に使用されたが、1930年頃フランク炉によつて酸素製造装置が改善され²⁾酸素の大量かつ安価供給法が確立されて以来この方面にいちじるしい進歩発達が見られるにいたつた。すなわち 1935 年には熔鉱炉に酸素が試みに用いられ³⁾さらに 1946 年以後には平炉⁴⁾および電気炉⁵⁾に用いられ今日の隆盛をみるにいたつた。

八幡製鉄においても能率の向上を目標として 1948 年より製鉄、製鋼への酸素の利用を計画し、まづ 1949 年に既設の酸素工場(枝光)からパイピングによつて第一製鋼工場の 1, 2 号平炉に送酸し、平炉における利用から試験が開始された⁶⁾。また製鉄関係については 1951 年頃から研究を開始した。

II. 製鉄作業における酸素の利用

製鉄関係の研究としてはまず酸素を熔鉱炉の炉底に吹き込んで、熔銑中の Si を燃焼させ、これによつて湯の温度を上げ、低 Si, 低 S の銑鉄を得ようとする実験を八幡 3t 試験高炉において 1951 年 8 月から翌年の 12 月

の問題として残されている。

つぎに酸素富化送風による製鉄の研究は 1935 年 Lennings⁸⁾ が先鞭をつけ、その後数多くの人々⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾によつて行われ今日にいたつているものである。これには周知のとおり、ドイツの Oberhausen, ベルギーの Liege, スイスの Gerlafingen 等の実験がある。Table 1 にこれらのプロフィールを示した。

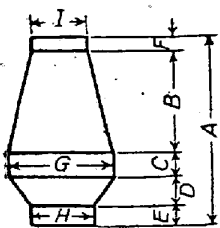
この表の中の Oberhausen⁸⁾⁹⁾の高さ 14m の炉においては、最初普通の空気操業を行い 50~60t/day のコークスを消費して 20~70 t/day の銑鉄を得ている。Table 2 はこの時の成績の一例である。

普通空気操業が円滑に行われて後酸素量を 24% および 26% に上げて試験している。この成績を同じ Table 2 に示したが、この表から判るように、酸素%の増加とともに、炉頂温度は下がり、コークス比は減少し、出銑量の増加がみられた。Table 2 は赤鉄鉱を使用した場合であるが、低品位の鉱石を用いた場合もこのことが認められる。

Oberhausen ではその後炉高を 7.75m に縮小して実験しているが¹⁰⁾、各所における試験の結果を総合してみると、装入物の粒度によつて操業に相当の差違があるが酸素富化によつて反応帯が縮小し、温度勾配が大きく

Table 1. Profile of various experimental furnaces.

Capacity items Furnaces	Inner volume (m ³)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	B/H	Effective height (mm)	Eff. height H
Furnaces in Oberhausen	62.23	14,000	8,700	625	1,700	1,500	1,475	3,050	2,400	1,600	3.62	12,500	5.21
Low shaft furnace in Oberhausen	41.20	7,750	3,375	825	1,700	1,500	350	3,050	2,400	2,200	1.41	5,100	2.12
Low shaft furnace in Liege	21.00	7,000	7,000					long axis 3,000 short axis 2,000	ditto to left	ditto to left	—	—	—
Low shaft furnace in Gerlafingen	13.50	5,200	5,200					2,000	ditto to left	ditto to left	—	4,600	2.30
Low shaft furnace in Yawata	4.10	3,543	1,643	390	590	590	330	1,300	1,170	1,100	1.40	2,623	2.24



まで東大の生産技術研究所金森教授らと共同で行つた。この研究はすでに 29 年春の鉄鋼協会講演会で発表があつたから⁷⁾省略するがこの酸素吹込の問題には実用化の立場からはまだ種々の解決を要する点があり、今後

なること、貧鉄石や軟いコークスでも吹製可能等が著しい特徴として挙げられる⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

八幡製鉄所では 1954 年 12 月からこの実験を開始した。すなわち 3t 試験高炉を Table 1 に併記したごとく短く切り、酸素を送風に加えた試験を行つた。

Table 3 および Table 4 は使用した原料ならびにその操業例であるが、鉄石は何れも 5mm 以下に破碎

Table 2. Comparison of operating data under air blast and O₂ enriched blast, using hematite as ore (in Oberhausen).

By operation	O ₂ content of blast (%)	Iron production rate (t/day)	Coke ratio	Temp. of blast (°C)	Temp. of top gas (°C)	Chemical composition of pig iron (%)				Temp. of pig iron (°C)
						C	Si	Mn	S	
Air blast	21.0	43.1	1.055	742	364	4.16	1.9	1.3	0.020	1,375
O ₂ enriched blast	24.0	51.0	0.935	770	258	4.11	2.1	0.7	0.018	1,355
"	26.0	52.0	0.889	730	205	4.20	2.1	0.9	0.012	1,380

By operation	Slag production rate (kg/pig-t)	Chemical composition of slag (%)					Gas production rate (m ³ /pig.t)	Against air blast operation	
		SiO ₂	CaO	Fe	S	CaO/SiO ₂		Decrease rate of coke ratio (%)	Increase rate of iron production (%)
Air blast	474	29.4	45.0	1.2	2.7	1.53	4,390	—	—
O ₂ enriched blast	475	34.0	50.0	0.8	1.7	1.47	3,512	11.0	19.0
"		33.0	50.0	1.1	1.8	1.51	3,150	16.0	20.6

Table 3. Chemical composition and properties of raw materials.

(a) Chemical composition of iron ore, manganese ore, and limestone (%)

Raw materials	T·Fe	Mn	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	S
Vancouver's magnetite	59.11	0.80	6.50	6.24	2.03	0.184
Indian manganese ore	13.13	36.12	11.05	1.61	3.99	0.115
Japanese manganese ore	4.28	32.64	31.37	2.22	2.94	0.976
Limestone	4.74	tr	0.42	54.48	—	—

(b) Strength and proximate analysis of coke.

Crushing strength (<15mm) (%)	Tumbler index (>6mm) (%)	Proximate analysis (%)			
		Ash	Volatile matter	F.C.	Total S
51	74	13.38	1.75	84.30	0.57

して用いコークスは 10~20mm に篩分した一般用コークスである。

試験はまず冶金用コークスと一般用コークスとの差異を試験したが、酸素送風を行えば一般コークスの方が酸素使用による効果のあらわれ方が冶金用コークスのそれよりも著しいことが認められた。

Table 4 は一般用コークスを用いて製鋼用鉄を吹製したときの空気送風ならびに酸素富化送風の成績で、Fig. 1 はこの際の炉高と温度の実測値を示したものである。これをみるに酸素富化量とともに温度の勾配は急激となり炉内温度は低下することが明らかであり、またコ

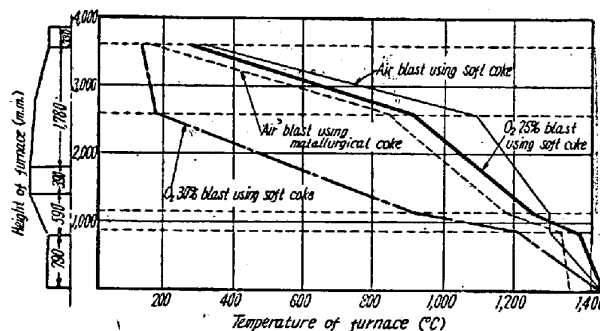


Fig. 1. Relation between O₂ content of blast and temperatures of furnace.

ークス比の減少、出鉄量の増加が著しい。このことはわれわれの使用した鉄石が炉に適したものであることを示すものと思われるが酸素濃度が高くなると銑鉄中の Si の調整にやや困難となる傾向がある。このことは原料の種類大きさにより操業条件に適した酸素富化量のある事を示すものである。

Table 5 に Fe-Mn およびスピーゲル鉄を吹精したときの成績を示した。

この時も鉄石はバンクーバー、コークスは一般用を用い Mn 鉄石には内地産 Mn 鉄石とインド Mn 鉄石とを別々に試験した。内地 Mn 鉄石の時にはインド Mn 鉄石の時よりもその含有成分の関係上成績は劣つたが、インド Mn 鉄石の時には炉内容積 1m³ 当り出鉄量 1.13t コークス比 2.14 にも達する成績を得た。なお Fe-Si、鑄物鉄においては目下実験続行中である。

III. 平炉における酸素の利用

1930年から 40 年にかけて、米国の平炉はほとんど燃

Table 4. Comparison of operating data under air blast and O₂ enriched blast. (in Yawata)

By operation	O ₂ content of blast (%)	Iron production rate (t/day)	Coke ratio	Temp. of blast (°C)	Temp. of top gas (°C)	Chemical composition of top gas (%)		Chemical composition of pig iron (%)				Temp. of pig iron (°C)
						CO ₂	CO	C	Si	Mn	S	
Air blast	21.0	5.053	1.702	705	288	3.4	34.6	4.21	1.07	2.44	0.042	1,364
O ₂ enriched blast	25.7	5.881	1.462	743	242	5.1	40.8	4.16	1.10	2.38	0.051	1,398
〃	30.1	6.243	1.266	615	157	6.2	44.9	3.94	1.14	1.84	0.065	1,397

By operation	Slag production rate (kg/pig.t)	Chemical composition of slag (%)				Gas production rate (m ³ /pig.t)	Against air blast operation		Size of raw material (mm)	
		SiO ₂	CaO	Fe	CaO/SiO ₂		Decrease rate of coke ratio	Increase rate of iron production (%)	Ore	Coke
Air blast	786	33.49	49.32	0.77	1.472	7,080	—	—	-5	10~25
O ₂ enriched blast	810	33.04	49.34	0.82	1.496	5,100	14.1	16.4	-5	10~25
〃	762	32.58	49.28	1.37	1.515	3,940	25.6	23.6	-5	10~25

Table 5. Comparison of operating data in case of ferro-manganese production under air blast and O₂ enriched blast. (in Yawata)

By operation	O ₂ content of blast (%)	Iron production rate (t/day)	Coke ratio	Temp. of blast (°C)	Temp. of top gas (°C)	Chemical composition of pig iron (%)				Temp. of pig iron (°C)	Slag production rate (kg/pig.t)	
						C	Si	Mn	S			
* A	Air blast	21.0	3.770	2.308	600	437	4.94	0.80	23.70	0.017	1,408	1,140
	O ₂ enriched blast	31.2	5.253	1.654	588	342	5.18	0.23	21.61	0.011	1,401	1,080
** B	Air blast	21.0	2.864	3.177	648	536	6.18	0.66	64.72	0.006	1,422	1,839
	O ₂ enriched blast	32.0	4.631	2.137	598	371	6.62	0.18	64.78	0.007	1,437	1,438
*** C	Air blast	21.0	1.987	4.560	608	438	5.99	0.87	64.38	0.004	1,346	4,750
	O ₂ enriched blast	31.1	2.524	3.562	609	282	6.04	0.89	66.69	0.006	1,368	4,360

By operation		Chemical composition of slag (%)					Gas production rate (m ³ /pig.t)	Against air-blast operation		Size of raw materials(mm)	
		SiO ₂	CaO	Fe	Mn	CaO/SiO ₂		Decrease rate of coke ratio (%)	Increase rate of iron production (%)	ore	coke
* A	Air blast	29.49	47.30	0.36	3.84	1.604	8,560	—	—	-1.5	10~25
	O ₂ enriched blast	28.79	42.15	0.32	8.20	1.460	4,650	28.4	39.4	-1.5	10~25
** B	Air blast	27.80	41.18	0.26	8.09	1.480	11,920	—	—	-1.5	10~25
	O ₂ enriched blast	27.39	44.46	0.26	6.98	1.624	5,994	32.8	61.7	-1.5	10~25
*** C	Air blast	34.38	43.40	0.39	8.30	1.265	15,870	—	—	-1.5	10~25
	O ₂ enriched blast	33.09	43.32	0.30	8.96	1.308	9,110	21.9	27.0	-1.5	10~25

* In case of spiegel production using Indian manganese ore.

** In case of ferro-manganese production using Indian manganese ore.

*** In case of ferro-manganese production using Japanese manganese ore.

料として発生炉ガス，あるいは混合ガスから重油系の液体燃料に変えられた¹²⁾が液体燃料は加熱時間が速く，価格が安い反面，燃焼速度が遅いので，炉の長さが比較的短い場合には，炉内で有効に燃焼させるという点に若干の問題が残る．酸素を助燃剤として用いるとこの欠点が補われるということに注目して 1946 年春カナダ製鋼会社の Hamilton 工場で，カナダ液体空気会社と協同の下に大規模な実験が行われ¹³⁾著しい効果を示した．これに刺激されて続々と助燃剤としての酸素の利用について試験が始められ，急速な勢で普及されるにいたつた．

また一方脱炭促進，すなわち酸化反応を行わせるための酸素利用も，早くも 1930 年頃から電気炉の脱炭に試験的に使い始められた¹⁴⁾が，平炉における利用は Allegheny Ludlum Steel Company の Brackenbridge 工場で Air Reduction Company の協力のもとにはじめられ¹⁵⁾，精錬時間の短縮，その他めざましい効果をあげ，たちまち全米の平炉業界を風靡した．もちろんその当時の鋼の需要増大の環境も，この発展に大いに寄与したことはいうまでもない．

わが国においては¹⁶⁾ 1949 年 5 月日本鉄鋼協会，製鋼部会主催の下に，鉄鋼八社の共同実験が尼崎製鋼において行われ，装入物の溶解とベッセマライジングに使用されて，著しい効果を示した．

八幡製鉄所においても，おなじ頃より，第一製鋼工場で，酸素利用の種々の試験を行い，ついで電気炉に試験し，その効果を確認した．そこで 1952 年には隣接の三菱化成より配管設備して毎時 1800 m³ の酸素を購入使用し，あらたに 500m³ の酸素工場を設置して，全製鋼工場で活潑に使用されるにいたつた．この間燃料も順次，重油専燃ないし重油，C gas 混焼に切換えられ，現在ではスクラップの山崩し，助燃剤，ベッセマライジング等広範囲に使用され，製鋼能率の向上，燃料原単位の低下に著効を収めている⁶⁾．

一例をあげれば Table 6 のごとく，酸素の利用によつて，各工場とも，製鋼時間が短縮され，製鋼能率は向上し燃料，鉬石，石灰等の原単位も低下している．

また同表に示されているごとく鍋付も著しく減少したことからも，昇熱が容易になつたことが判る．これは，1952年(昭27年)の例であるが，その後燃焼法の改善，その他と相俟つて燃料原単位は Fig. 2 に示すごとくその低下著しく，現在はきわめて優秀な成績を示している¹⁷⁾．これも酸素の利用に負うところきわめて大きい．かような能率の向上の外に前にのべたように湯熱の上昇が容易になつて低熱出鋼の恐れがなくなり，操業が安定したこ

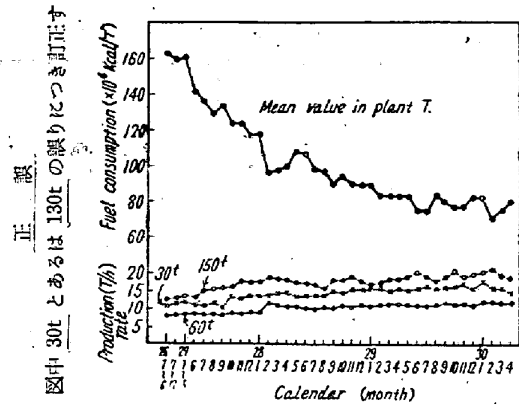


Fig. 2. Transitions of fuel consumption and production rate.

ともきわめて大きな収穫であるが，低炭素鋼の熔製が容易になつたことも見逃し得ない．

すなわち C% が低くなると，沸騰が困難となり，したがつて反応の進行も遅くなるので，たとえば ingot iron の熔製の際等には銑鉄と鉬石とを繰返して投入して作業し，かなりの長時間を要することが普通であつたが¹⁸⁾酸素によるベッセマライジングを行えば酸素を与えるとともに，その泡による攪拌によつてスラッグあるいは雰囲気との接触も良好となり，反応が促進され，かつ熔鋼の温度上昇も促進される．たとえば自動制御を行つている場合にはベッセマライジングを行つている間，自動的に燃料が絞られているのをもみても明白である⁶⁾．

昇熱の容易なこと，低炭素鋼熔製の容易なことは不銹鋼熔製に好都合である．すなわち不銹鋼においては C% の低いこと，したがつて C/Cr が低いことを要求されるが C/Cr は温度上昇につれて小さくなることを思えば電気炉における不銹鋼熔製にも酸素の不可欠なことはよく判る．かように酸素によるベッセマライジングは種々の効果をもたらすものであるが，これによつて鋼中の O% が増すことはない⁶⁾¹⁹⁾．

しかしながらそのコストの大きな部分を占めるランスの消耗は一つの大きな問題である．これに対してはいろいろの努力がなされている²⁰⁾．また酸素には送酸設備の都合上湿気がかなり混合する場合があり，H% を増す危険があるので，この脱水についても種々考慮が払われなければならない．とくに後にのべる上吹転炉においてはこの点の注意が肝要である．

IV. 転炉における酸素の利用

つぎに転炉について述べよう，従来転炉は原料としていわゆる Bessemer 銑や Thomas 銑によらねば吹錬が困難であつたと同時に空気を以て，吹錬するのであるから，空気中から N₂ を吸収して，鋼質に著しい時効

Table 6. Comparison of the oxygen process with the ore process.

Plant (Furnace capacity)		H. (100 t)		K. (120 t)		T. (60 t)	
Firing fuel		C.O.G.+Oil		C.O.G.+Oil		Oil	
Process		Oxygen	Ore	Oxygen	Ore	Oxygen	Ore
Period		1952 5.1~5.15 5.25~5.31	1952 5.16~5.25	1952 5.1~5.15 5.25~5.31	1952 5.15~5.25	1952 6.1~6.8	1952 5.19~5.24
Number of heat		20	27	58	22	14	9
Pig ratio (%)		—	—	48	46	41.9	42.8
Ingot weight (%)		124.4	126.6	120	118	64.2	65.9
Consumption of O ₂ (m ³ /t)	For atomizing	9.3	—	7.1	—	6.4	—
	For scrap melting	—	—	0.6	—	—	—
	For bessemerizing	2.1	—	1.0	—	1.6	—
	Total	11.4	—	8.7	—	8.0	—
Melt-down carbon (%)		0.91	0.89	0.73	0.78	0.90	0.82
Ladle carbon (%)		0.13	0.15	0.13	0.15	0.12	0.14
Rate of carbon removal (%/mn)		0.0062	0.0054	0.0071	0.0065	0.0070	0.0056
Production time	Charging time	3°21'	3°47'	1°38'	2°09'	1°53'	1°52'
	Rate of level up (%)	11.5	—	24.0	—	+09	—
	Melting time	4°57'	5°02'	4°14'	4°18'	3°26'	3°45'
	Rate of level up (%)	1.7	—	1.6	—	8.4	—
	Refining time	2°06'	2°16'	1°24'	1°37'	1°52'	2°02'
	Rate of level up (%)	7.4	—	13.4	—	8.2	—
	Total	10°24'	11°05'	9°07'	9°45'	7°09'	7°39'
Rate of level up (%)	6.2	—	6.5	—	6.5	—	
Production rate	t/h	11.9	11.4	13.1	12.1	8.98	8.62
	Rate of level up (%)	3.6	—	8.3	—	4.2	—
Fuel consumption rate	10 ⁸ Kcal/t	1.374	1.464	1.176	1.214	1.380	1.400
	Rate of level up (%)	6.2	—	3.1	—	1.4	—
Iron ore*	kg/t	44.3	47.1	94.9	96.9	28.3	34.6
	Rate of level up (%)	2.8	—	2.0	—	6.3	—
Lime*	kg/t	41.8	44.9	99.7	45.9	82.0	76.9
	Rate of level up (%)	3.1	—	6.2	—	+5.1	—
Consumption of oxygen lance (mm/mn)		380	—	294	—	462	—
Scull	kg/t	2.43	2.63	2.66	4.0	2.78	4.73
	Rate of level up (%)	7.6	—	33.5	—	41.2	—

* These are included values of iron sand, mill scale, and lime stone.

性を与えた。これらの欠点のために転炉の持つ利点、すなわち高い生産性や低廉な製造原価等が相殺されて、立地的にこの方法以外には取るべき術のない地方を除いては次第に採用されなくなってきた。近年に至りとくに1925年頃に Haag¹⁾が数回に亘つて転炉への酸素の利用を提唱したが、主として酸素の製造原価が高いために、採用されるにいたらなかつた。しかし純酸素発生機の発

達に伴い 1950 年前後にはドイツ、ベネルックス 3 国、フランス等で工業的規模の実験を含む幾多の試験が行われ²¹⁾²²⁾²³⁾ Haag の見解の正しいことが立証された。工業的に実地に酸素をトーマス転炉に使用したのはベルギーの Maximilian Hütte²⁴⁾ は最初で 1933 年のことであつたが今日の歐洲では転炉に酸素を用いることはむしろ常識となつており、ドイツ、ベルギー、フランス等では

Table 7. Top-blown oxygen converter plant in the world
in June 1955

Converter plant			Data of converter				Oxygen plant			Composition of pig used in converter	Steel produced
Plant	Country	Company	Vessel cap × No. (designer)	Capacity of plant	Lining ¹⁾ (thickness)	Date of operation starting	Type	No. & Capacity	Purity of oxygen		
Linz	Linz (Donau) Austria	Vöest	30t×2 [G.H. H] ²⁾	250,000 t/y ³⁾ (225,000 t/y)	T-Mg-B (600 mm)	Jan. 1953	Linde Fraenckel	2100×1 (4200×1) ⁴⁾	98% 99.5	Basic Pig Si 1.0 P 0.150	Tin strip, thick plate deep drawing sheet
Dona-witz	Leoben Austria	Öamg	25t×2 [Dem-ag] ²⁾	250,000 t/y ³⁾ (225,000 t/y)	Vessel T-Mg-B Bottom Mg-B	May. 1953	Firma messer (Linde-F) ⁴⁾	2,000×1 (4250×1) ⁴⁾	99.5 98	Basic pig Si 0.1~0.2 P 0.080~0.010	Bar & rail, wire strip & sheet
Dominion	Hamilton (Ont.) Canada	Dofasco	40t×2 [G.H. H.]	350,000 t/y	T-Mg-B	Oct. 1953	Linde-F	3000×1	99.0	Basic pig Si 1.2, P 0.120	Tin plate & strip (<0.10%C rimmed) Si steel, <0.25C Killed
Mclouth	Detroit U.S.A.	Mclouth Steel Co.	40t×3 [Pensylvania Eng]	600,000 t/y	Mg-B	At the end of 1954	Linde-F	4200×1	99.5	Basic pig	Auto sheet strip & sheet <0.15%C
Huckingen	Duis-burg Germany	Manne-sman	35t(?) ×1		T-D-B	Spring 1955				Thomas pig	(Pipe, thick plate)
Pomey	Pompey France	Pompey	30t×1 [G.H. H.]		T-D-B	[Scheduled] Nov. 1955				Thomas pig	
	Brazil	Belgo Mineria	30t×2 [Dem-ag]			[Scheduled] at the end of 1955				(Basic pig)	
Broken Hill	Australia	Broken Hill	50t×3 [Dem-ag]	1,000,000 t/y		Under contemplation	Linde-F	9000×1		(Basic pig)	

- 1) T-Mg-B...Tar magnesite brick, T-D-B...Tar dolomite brick, Mg-B...Magnesite brick
- 2) One more 30t vessel is in construction
- 3) Production in 1954
- 4) In construction

平炉における酸素利用率は僅か 20% 程度であるに対しトーマス転炉においてはほとんど 100% の使用率を示し転炉における酸素の利用は平炉あるいは高炉におけるよりも遙かに有効かつ革新的であることを物語っている。この結果トーマス転炉鋼の鋼質はかなり改良され [N], [P] 等も従来の転炉鋼よりも、かなり低いものが製造されるにいたつた²¹⁾。また、年産能力も、35% 酸素の使用で、2割程度高く²⁵⁾なつた。

しかるに、酸素の濃度を増すとともに、炉底および炉体に使用する耐火材の寿命は短くなり、35%以上の酸素富化空気を用いた底吹転炉では実際上操業が困難で²⁵⁾あ

ることが明らかになるとともに、トーマス銑以外の銑鉄たとえば平炉銑を用いて、製鋼を行いたいという要求が現われた。これに対して米国には Turbo-Hearth 法、オーストリアには、上吹転炉が出現するにいたつたのである。Turbo-Hearth 法²⁶⁾は 1948 年アメリカで小規模な実験を基にしてはじめられたもので、平炉銑を一種の横吹転炉に入れ 30% までの酸素富化空気を使用して P, N, のきわめて低い鋼を得る方法である。U. S. Steel Co. では今日なおこの実験を行つているようであるが、工業化にはいたつていない。これに対して上吹転炉法は 1949 年 Turbo-Hearth 法とほとんど同時期に

オーストリアの Linz において工業化試験に着手されたが 1952 年にはすでに世界最初の工場が Linz²⁷⁾ に建ち翌 1953 年には Donawitz²⁸⁾ でも操業を開始されるにいたつた。現在世界ではすでに Table 7 のごとく各所で建設ないし計画が行われ、昨 1955 年この方法によつて製造された鋼は 170 万 t²⁹⁾ と称せられ僅々 3 年間の発展としてはまことに素晴らしいものがある。この方法の発明は平炉銑を使用して、平炉鋼と同等の性質の鋼を製造せんとするものである。したがつて従来、転炉法を行うことが、原料面で立地的に必ずしも有利ではなかつた地方あるいは需要家が平炉鋼材の使用に慣れていて、鋼質の劣るトーマス鋼を好まない地方、(たとえば米大陸、極東、東南アジア、オーストラリア等) においても、この上吹転炉鋼が注目されるにいたつた。

八幡製鉄所における転炉の研究は 1954 年(昭和29年) 3 月から 5t の横吹転炉によつてはじめられ、約 260 回の試験出鋼を行つた後、同年 12 月に 5t の上吹転炉を設けて約 1,000 回の試験出鋼を行い、今日にいたつている。Fig. 3 は上吹転炉のプロファイルを示した。

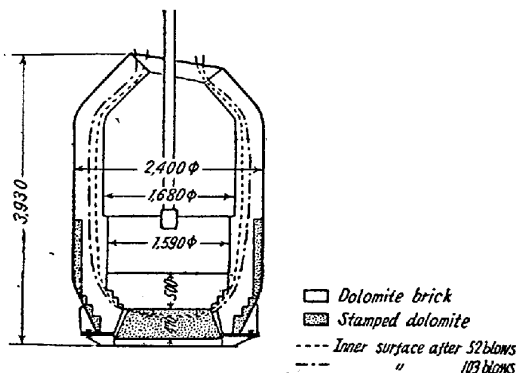


Fig. 3. 5t Experimental top-blown-oxygen converter.

横吹転炉においては送風中の酸素を 35% まで富化して試験を行つたところ、平炉銑を用いて、鋼を製造することができ、鋼浴中の N は 0.003~0.006% となり、その機械的性質も良好な鋼が得られた。しかしこの方法では鉄滓中の T.Fe が 25~30% となり、鉄分の歩留りがかなり低下し、耐火物製の羽口および羽口上炉壁の熔損がはなはだしく、実用的には十分満足し得るものではなかつた。そこでつきに上吹法の試験に移つたが、これはきわめて高純度の酸素を水冷した羽口を通じて、鋼浴面へ 6~8 気圧の圧力で吹付けて、精錬を行う方法で、この場合の酸素は 96% 以上の高純度であるから、廃ガスの量も、空気吹きの場合に比して遙に少く、したがつて廃ガスとともに炉外に逃れ去る熱の損失もきわめて少いために、熔鋼の熱上りもよく、スクラップあるいは鉄

鉱石等を使用して鋼浴を冷却せねばならない。われわれの実験結果では通常の平炉銑を用いても余分に約 20% のスクラップを使用することができた。

さて炉内反応を少しく観察してみると、反応の状況は酸素の使用条件によつて変化するが、一般に Fig. 4 に示すような経過をたどり、トーマス法におけるように追吹は行わずとも、P は下がること判る。

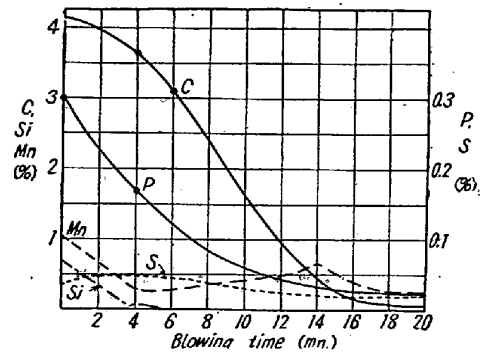


Fig. 4. Change of C, Mn, Si, P, S in metal bath during blowing curves denote mean-values of blowing data of Yawata experimental top-blown converter.

またスラッグの T.Fe と塩基度の変化の様子は全く平炉に類似している。

これらは上吹転炉の反応と平炉における反応とが非常によく似ていること、したがつて精錬された鋼の性質も平炉に充分匹敵するものであることを現わしている。この事はさきの横吹転炉においても、もちろんみられたことではあるが、この上吹転炉ほどには顕著ではなかつた。反応の経過をみれば、C が 0.5% の時にすでに P は 0.03% 以下に下つており、したがつて熔鋼中の C が希望する値に達した時には何時でも出鋼しても差支えのないこととなり、作業は安定、かつ容易になる。すなわち上吹転炉によつてキルド鋼を十分容易に製造し得る。

また鋼滓の生成が速いために、全吹錬が 20mn という短時間に完結するにも拘らず、途中で排滓し、新しく鋼滓を造り替えることも容易で、これによつてたとえば P を 0.015% という、平炉に劣らぬ程度に落すことも可能である。

鋼中の N も、この上吹法によつてきわめて低くすることができる。われわれの実験では、Fig. 5 のような N-O の関係を得ている。すなわち N% は使用する酸素の純度によつて左右され酸素純度が 99.5% の場合には、挿物前の N は僅か 0.0014% に過ぎず、平炉の 0.0025% を遙かに下まわる。

なお気相中の N と鋼中の N との関係は Sievert の法

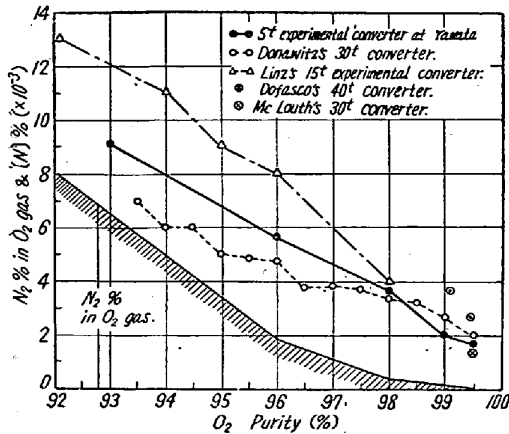


Fig. 5. [N]% related with O₂ purity.
Data of Yawata experimental converter compared with that of various plants.

則³⁰⁾にしたがうとして計算したNと実測したNとがよく一致していることを知った。

かように、この転炉鋼は N, P, O, 等は平炉鋼と同等またはそれ以下となるので、その機械的性質も優秀であることが想像される。また操業面からみると、この方法では羽口と炉体とは完全に分離された状態にあるから、トーマス法、あるいは横吹法のごとく、羽口部だけがとくに著しい熔損を受けるというような事もなく、炉壁は熔湯によつてむしろ保護される形になり、耐火物の熔損も比較的少なく (Fig. 3 参照) とくに羽口の交換のために炉の稼働を休止する必要のないことは著しい特徴といわねばならない。

また製造した鋼の歩留についても、鋼滓の量 T・Fe% 等、平炉のそれに同等であるため、歩留も比較的高く、前に行つた横吹炉とは格段の差を示している。しかし強いて欠点といえば脱炭速度がきわめて大なるため、平炉におけるほどにはよき成分適中率を示し得ないこと、とくに高炭素鋼材の熔製に不利なことおよび煙塵がはなはだしいために、特別の収塵装置を備えなければならないこと等があげられる。

ともかく上吹転炉は、鋼質の上からみても、経済面からも立派に操業にたえ得るものであることが明瞭に判つたので八幡製鉄所では上吹転炉による製鋼能力の増強をはかり、良質の鋼を生産せんとして、目下大型転炉の建設を計画し、着々実現に近づきつつある現状ある。

V. 酸素上吹転炉鋼の材質

以上は主として製鋼の立場から述べたが、純酸素を使用した上吹転炉鋼の材質については従来発表されたところ²⁷⁾³¹⁾によれば純酸素の上吹吹錬によつて従来のトーマス吹錬法ではなし得なかつた鋼中N含有量の低下に成功

し、その含有量が平炉鋼と同等あるいはそれ以下に減少し、同時に吹錬条件の調整により、P含有量をも低減せしめ得たために、その材質は著しく改善された。

すなわち上吹転炉鋼はその化学成分を補正した場合、一般の平炉鋼よりも約 2 kg/mm² 軟く、同一の強さのものではほぼ同一の伸びの値を示している。また加工工程における加工硬化はトーマス鋼に比し著しく低く平炉鋼にほぼ等しく、いくらか少目である。また衝撃値、衝撃値におよぼす歪の時効の影響あるいは遷移温度について上吹転炉鋼は平炉鋼と大差なく、トーマス鋼よりは著しくすぐれている。

これらのことは上吹転炉鋼の材質は本質的に平炉鋼と大差がなく、いくらかすぐれているものであることを示すものである。

八幡製鉄所においても上吹転炉鋼の各種について多方面に亘る調査研究を行つているがこれらの研究の中、厚鋼板および線材について行つた試験結果の 2, 3 について述べよう。

1. 成分について

熔製した転炉鋼材は Table 8 にみるごとく、N含有量は必ずしも外国のデータに比して少いとはいわれないうが、これは炉の容量、還元剤の投入、造塊法等によつて改善されるものと思われるものである。さて、いままで得られた鋼の成分をみるに 96% 酸素で熔製したA鋼は Nが 0.005~0.015% でとくにギルド鋼で高く、Pは 0.017~0.070% でこれも平炉鋼に比較して高目のものが多かつたが、他の元素は同程度である。また高純度の 99.5% 酸素で熔製したB鋼は 0.003~0.007% N, 0.011~0.023% P で平炉鋼と同等である。(B鋼のP%は精錬法の改良によつて下つたもので高純酸素使用のためではない。)

なおA鋼中には鋼塊頭部と底部でP%が取鋼分析値よりかなり上下するものがあつたが、B鋼では少なくなつていた。またO%は 0.004~0.020% で平炉鋼なみ、H%は 6~17×10⁻⁵% で平炉鋼より著しく低い。

2. 引張試験

試験片は厚鋼板より圧延方向により (2本試験して平均値を求めた。)同様な成分および厚さを有する平炉鋼と比較した。

i) 降伏点と引張強さ

Fig. 6 は同一引張強さに対する降伏点を比較したものである。これより判るごとく、転炉鋼はA, B鋼とも平炉鋼より降伏点が低い。すなわち転炉鋼の降伏比は平炉鋼のそれより低い。

Table 8. Chemical composition of specimens.

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Sol Al (Insol Al)	N	H	O	
Heavy plates	O.C. Steel (A)	Rimmed	0.15 ~0.27	0.01 ~0.22	0.40 ~0.58	0.018 ~0.070	0.009 ~0.025	0.159 ~0.178	0.001~0.002 (0.001~0.003)	0.0051 ~0.0071	6~17 ×10 ⁻⁵	0.006 ~0.015
		Killed	0.10 ~0.24	0.12 ~0.24	0.51 ~0.76	0.017 ~0.038	0.012 ~0.021	0.087 ~0.178	0.003~0.021 (0.003~0.036)	0.0078 ~0.0149	7~12 ×10 ⁻⁵	0.002 ~0.012
	" (B)	Semi-Killed	0.12 ~0.19	0.06 ~0.07	0.67 ~0.90	0.011 ~0.019	0.012 ~0.017	—	0.003~0.008 (0.002~0.006)	0.0032 ~0.0052	—	—
		Killed	0.10 ~0.19	0.06 ~0.28	0.64 ~0.85	0.014 ~0.023	0.008 ~0.013	—	0.005~0.059 (0.005~0.012)	0.0032 ~0.0073	—	—
	O.H. Steel	Rimmed	0.14 ~0.22	0.01 ~0.10	0.40 ~0.79	0.007 ~0.030	0.020 ~0.031	—	—	—	—	—
		Killed	0.15 ~0.17	0.20 ~0.15	0.52 ~0.64	0.010 ~0.016	0.021 ~0.026	—	—	—	—	—
Wire rod	O.C. Steel (A)	Rimmed	0.03 ~0.24	0.008 ~0.026	0.28 ~0.49	0.007 ~0.037	0.007 ~0.023	—	—	0.0017 ~0.0046	30~200 ×10 ⁻⁵	0.005 ~0.038
		" (B)	0.02 ~0.12	0.005 ~0.010	0.23 ~0.44	0.017 ~0.048	0.016 ~0.032	—	—	—	—	—
	O.H. Steel	"	0.00 ~0.18	0.10	0.30 ~0.43	0.009 ~0.018	0.014 ~0.026	0.183 ~0.199	—	—	—	—

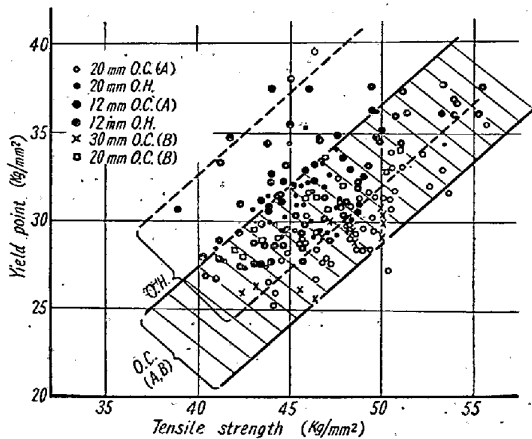


Fig. 6. Relation between yield point and tensile strength of heavy plates.

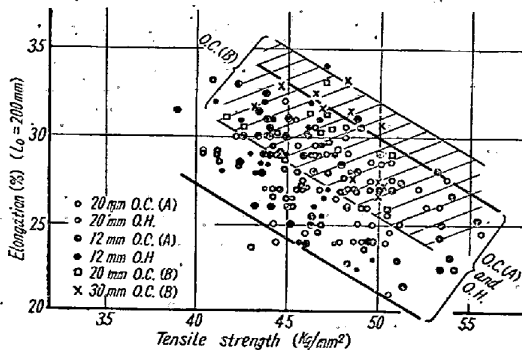


Fig. 7. Relation between elongation and tensile strength of heavy plates.

ii) 伸びと引張強さ

同一引張強さに対する伸びの比較を Fig. 7 に示す。

これよりみると A 鋼は平炉鋼との差が認められないが B 鋼は両者より約 4% 伸びが大きい。

以上の試験結果を総合して考えるに、同一降伏点について比較すると転炉鋼は平炉鋼より引張強さが高く、伸びは A 鋼より B 鋼の方が大きい。また同一引張強さで比較すると、転炉鋼の方が降伏点が低く B 鋼は他の 2 者より伸びが大きい。この降伏点が低く伸びが大きいことについての明確な影響因子は分っていないが、これらの差異は歪時効や疲労等と密接な関係があると思われる。

iii) 引張強さにおよぼす P%の影響

Jüptner の関係式を修正した式³¹⁾(Donawtzer Verhaltnis) により同一成分条件 (C, Si, Mn) に対する引張強さをプロットしてみると、A 鋼は約 2 kg/mm² 高くなっているが、B 鋼は平炉鋼と差が認められなかつ

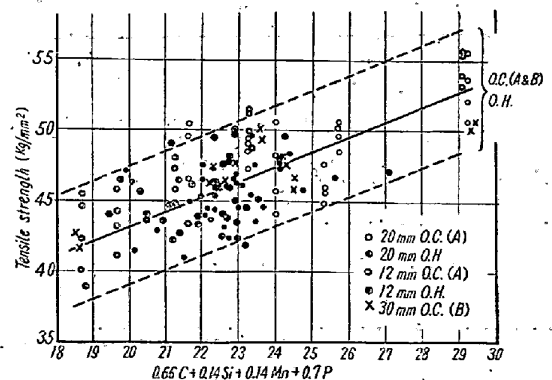


Fig. 8. Effect of C, Si, Mn, and P contents on the tensile strength. (Other elements have few effect.)

た。つぎにP%による補正項を入れると Fig. 8 のごとく差がなくなる。

このことからみて、転炉鋼の引張強さは C, Si, Mn の外にP%も考慮することが必要である。

3. 衝撃特性

V ノッチシャルピー衝撃試験を -40, -20, 0, 20, 40, 60, 80°C の各温度で行い、遷移温度を求めた。

(i) P%の影響

Fig. 9 は P% と 15ft·lb 遷移温度 (Tr15) との関係を示したものであるが、この図からみると、P%は、Tr 15 の値と直線的な関係にあることを示している。

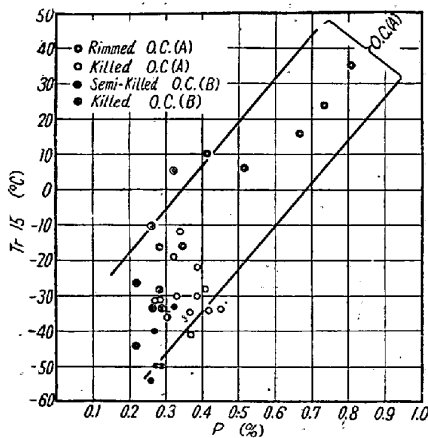


Fig. 9. Effect of P content on 15ft·lb transition point.

また Williams の式³²⁾による P 以外の factor (C, Si, Mn, 粒度) と Tr 15 実測値との関係を平炉鋼と比較してみると、A 鋼は同一成分条件に対して平炉鋼より Tr 15 が高く、B 鋼は平炉鋼と差がない。

つぎに P% を補正してみると Fig. 10 のごとく、キルド鋼の A 鋼を除いて三者の差は認められなくなる。

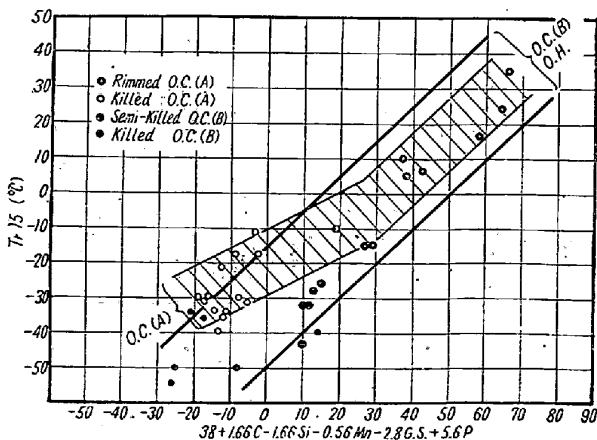


Fig. 10. Effect of C, Si, Mn, P contents and grain size on Tr 15 according to Williams' formula.

要するに遷移温度には引張試験と同様に P% の影響が大きいことに注意しなければならない。また A 鋼キルドのみは P% 以外に何等かの factor のあることを暗示している。

ii) N% の影響

前述のごとくキルド A 鋼は P% 以外に遷移温度を高める factor の存在が考えられるが、P と N とは共存する場合に著しく低温脆性を促進するといわれている³³⁾ので C, Si, Mn, P, 粒度の影響を除くために、Tr 15 実測値と Williams の式による計算値との差をとり、これと N% の関係を調べた所、Fig. 11 に示すごとく、直線的関係にあり、P% 以外の factor は N% であることがわかる。

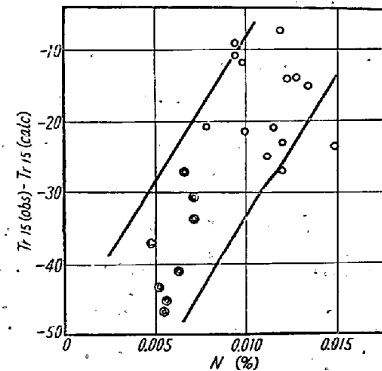


Fig. 11. Effect of N content on the transition temperature of O.C. steel (A).

4. 捻回試験

上記は厚鋼板による試験結果であるが、これと製造工程に大きな差異のある線材について常温捻回試験を行い平炉鋼と比較した。その結果 Fig. 12 に示すごとく。

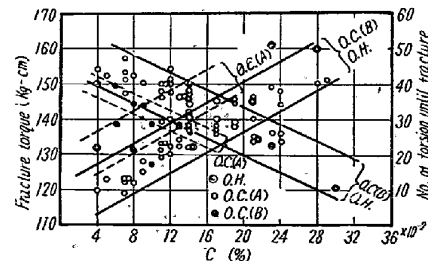


Fig. 12. Comparison of torsion test at room temperature. (Wire rod of 5*5mmφ L₀=200mm)

同一 C% に対して B 鋼は平炉鋼と差がないが、A 鋼は破断までの捻回数がある線材より低く、捻回破断トルクは高くなっていた。捻回試験における捻回破断トルクと捻回数は引張試験における引張強さと伸びとにそれぞれ相等すると考えられるから、さきへの引張試験結果と

比較すると、一般的傾向として、A鋼が硬くて変形しにくいのは一致しているが、B鋼が伸び易いということは捻回試験では認められない。これは捻回中に線材の内部と外部の加工度が異なるために、幾分試験としての感度が引張試験よりも低いためと試料の数が少いためであろう。

以上要するにこの鋼の性質には、含有するN、P%の影響が強く現われていることが、この試験を通じて明らかとなつたと解されるのであつて、それ故に高純度酸素上吹転炉においてはP%を平炉鋼なみに下げた場合にはNが低いという特徴と相俟つて平炉鋼に比較して、むしろすぐれた材質の鋼が期待できることが明らかである。

VI. 結 言

以上製鉄作業への酸素の利用の2~3を述べたが、これらの他に純酸素は鋼材表面のスカーフィング、鋼材の熔断に欠くべからざる役割をはたしている。また熔銑取鍋中に酸素を吹込むことにより、脱Si等が可能であり発生炉に應用して高カロリーのガスを得ることが出来る。また高炉に富化送風を行い、その炉頂ガスを調整して有効な利用も考えられているが、今回は割愛することにする。(昭和31年5月寄稿)

文 献

- 1) J. Haay: Stahl und Eisen, 45 (1925), 235, 1873
- 2) Journées internationales de sidérurgie, 96 (1935), 675
- 3) W. Lennings: Stahl und Eisen, 55 (1935), 533
- 4) W. O. Philbrook, M. Tenenbaum and F. M. Washburn: Basic Open Hearth Steel-making AIME (1951), 304
- 5) J. H. Berryman: Electric Furnace Steel Conference AIME 5 (1947)
- 6) 下郷良雄: 製鉄研究, (昭27), 201, 215
- 7) 金森九郎: 鉄と鋼, 40(昭29), 4, 185
城 博, 児玉惟孝: 鉄と鋼 “ ” 188
- 8) R. J. Rocca: Blast Furnace, Coke Oven and Raw Materials Committee AIME 6 (1947), 67
K. Neustaetter: Blast Furnace and Steel Plant, 35 (1947), 329
D. D. Howat: Blast Furnace and Steel Plant, 36 (1948), 533
H. Hellbrügge: Stahl und Eisen, 69 (1949) 256
International Research by the Steering Committee: Iron and Steel, 26 (1953), 5
- Iron and Coal Trades Review, 170 (1955), 31
- G. Stendel: Blast Furnace and Steel Plant 38 (1950), 775
- 9) W. Lennings: Stahl und Eisen, 63 (1943), 757
- 10) H. Schmacher: “ 73 (1953), 257
- 11) R. Dürrer: J. Iron and Steel Institute, 156 (1947), 253
- 12) H. V. Flagg, R. A. Lambert and B. M. Larsen: Basic Open Hearth Steel making, AIME, (1951), 89
- 13) E.T.W. Bailey: Iron and steel Engr, 24 (1947), 11, 35
- 14) J. H. Eisaman: Blast Furnace and Steel Plant, 36 (1948), 1081
- 15) G. V. Slottman: Blast Furnace and Steel Plant, 36 (1948), 64
- 16) 日本鉄鋼協会: 製鋼部会報告, (昭30・5) 218~264
- 17) 相原満寿美: 製鉄研究 (昭30) 211, 901
- 18) J. H. Nead: Transactions of AIME, 70 (1924), 178
- 19) B. M. Larsen: Basic Open Hearth Steel making, AIME, (1951), 882
- 20) 一例をあげれば
E. B. Hughes: Blast Furnace and Steel Plant 35 (1947), 677
- 21) R. Graef: Stahl und Eisen, 71 (1951), 1189
- 22) L. Marbais and P. Coheur: Rev. Univ. Mines, 93 (1950) 104
- 23) A. Desoer: Rev. Univ. Mines, 93 (1950) 213
- 24) W. Eilender und W. Roeser: Stahl und Eisen, 59 (1939), 1057
- 25) H. Kosmider: Blast Furnace and Steel Plant, 42 (1954), 1162
- 26) B. C. Bain and H. W. Graham: Steel, 124 (1949), 17, 98
C. E. Sims and F. L. Toy: J. Metals, 2 (1950) 694
- 27) W. Hitzinger: One Year L D Oxygen Refining Process, (1953)
- 28) O. Cuscoleça, H. Trenkler, O. Lellep und K. Roesner: Stahl und Eisen, 72 (1952) 987
- 29) I. E. Madsen: Iron and Steel Engr., 33 (1956), 1, 119
- 30) A. Sieverts: Z. Physik. Chem. 77 (1911), 591
- 31) W. Kühnelt: Stahl und Eisen, 72 (1952), 1004~1010
- 32) 木原 博: 熔接データブック, (昭29), 16
- 33) 今井, 石崎: 日本金属学会誌, 17 (昭28), 212