

## 技 術 資 料

### ソ連及び中共の小型ベッセマー製鋼法

福 島 政 治\*

#### ON THE SIDE-BLOWN BABY-BESSEMER PROCESS IN U.S.S.R. AND CHINESE COMMUNIST REGION

*Masaji Fukushima*

##### Synopsis;

Side-blown baby-bessemer converters are employed in foundries for the production of steel castings, in U.S.S.R. recently, however, a large number of this type of converters are also used for the production of steel ingots under a new name of "Soviet Union's Process." And also, they assert that steel made by the side-blown converters have lower gas content and higher resistance to the low-temperature shortness than the others made by the open hearth furnace. The distinctive point of this new process is to use the over-heated low-Si molten pig iron (0.3~0.5% Si, 1400~1450°C) in the converter. Therefore, it seems to be nearly identical with the old Swedish process, but they maintain that it is their own process.

Normally, in the baby-bessemer process, or in the high-or medium-Si process, they refine hematite pig iron, which is usually melted in usual cupolas. In works producing steel ingots by this new process, however, the cupolas are of a special design and the charge employed contains high percentages of steel scrap (90~95%), which is partially recarburized before blowing in the converter.

From the results of several practical studies on the high Si Process (>1.6% Si), the medium Si process (1.1~1.6% Si), the low-Si process (<1.0% Si) and this new process by a 1.5t converter in each, merits of this new process were pointed out as follows;

- a) The shortening of the blowing time.
- b) The lessening of the blowing-loss of molten metal.
- c) The increasing of the steel scrap in the raw material of cupola.

In the Chinese communist region, lately, in some works this type of converters are also used for the production of steel ingots, and they are blowing the comparatively lower Si molten pig iron (0.8~1.2% Si, 1300~1350°C) in the converter. It may be said that, from the great demand of steels in that region, this simple process will be developed more and more in future.

#### I. 緒 言

私達の頭から、とかく忘れられ勝になつていた側吹小型ベッセマー炉が最近になつてソ連各地の製鋼及び鑄鋼工場に建設されて猛烈な勢で発展し出した。しかも、これがソ連式と特に銘をうって 0.3~0.5% Si の低 Si 過熱熔銑を吹くようになつて、戦後のソ連工業建設へ重要な役割を果している。中共地区でも 2~3t の側吹小型ベッセマー炉が、いくつかの製鋼工場に建設されて 1% Si 前後の低 Si 熔銑を吹いて鋼材の増産に活躍している。筆者はこのうちでソ連式法に特に興味を抱き、その

報告を読んだり、聞いたりしたので、先ずこれについて以下にそのうちの或る程度を紹介し、更に筆者が実際に見たり、働いてきた中共の小型ベッセマー法の大略を紹介し、これらの共産圏内諸国の製鋼技術の一端を知る参考に供したい。

#### II. ソ連式小型ベッセマー法 (側吹法による低 Si 過熱熔銑の吹製法)

- 1) ソ連に於ける小型ベッセマー製鋼法の歴史と現況

\* 姫路工業大学教授, 工学博士

ソ連でも昔から小型ベッセマー製鋼法は、設備の簡易さと、操作の容易さから或る程度は実際に役立たされてきたが、この間には特別にとりたてる程の発展もなくまた技術的に研究することもなく、ただ普通鑄鋼品の製造に限定されていた程度であつた。従つて、この間は完全な技術条件も、確実な操作条件も規定されていない状況であつた。しかし、新しい時代の要求に適合した考えと技術とを加味して、最近になつて転炉の生産過程について、新しく一つの系統的な探究を行つた結果、小型ベッセマー製鋼法にも多大の前途のあることが発見され、しかも、その鋼質も他のものと比較して遜色もなく、時には優つているようなこともあることがわかつた。今、平炉鋼と比較した同一条件の軟鋼材についての試験結果は第1表にその一部を示す。

第1表 各種鋼種の性質比較

鋼種	低温衝撃値 (シャルピー)		ガス含有量 (%)
	-18°C	-40°C	
酸性平炉鋼	0.95~2.8	0.42~2.25	0.0045 ~0.0050
塩基性平炉鋼	2.8~3.2	0.4~2.4	0.0040 ~0.0080
小型ベッセマー鋼	1.9~3.3	0.7~2.65	0.0018 ~0.0040

ここに特に問題とされた点は、側吹ベッセマー鋼材は含有ガス量の少いことで、平炉、電気炉鋼よりも少く、特に底吹のトーマス鋼やベッセマー鋼材の1/10以下であることであつた。このように鋼質について裏付を得たので、1945年以後ソ連では側吹小型ベッセマー法に重要な役割を持たせて製鋼界に実際に活躍させているが、その容量は1.5tから4~5tにも及び、甚だしいものは小型の域を越えた25tにも及ぶものも設備されている。特にその利用は次第に拡大されて所謂三重精錬法として熔銑炉→小型ベッセマー炉→電気炉による三段精錬によつて一昼夜600tの特殊鋼塊或いは鑄鋼品を製造している工場もある。小型ベッセマー法が活躍し出すにつれて、原料及び操業時間の関係から低Si銑の吹製法の研究が要求され、最近5年来は特にソ連式小型ベッセマー法といつて、特別に低Si過熱熔銑を吹き始めて成果をあげていることは注目すべきであろう。これによつて製鋼或いは鑄鋼工場は戻り鋼屑はそのまま熔銑炉中に投入され、一部の原料銑鉄と共に0.3~0.5% Siの低Si銑として小型ベッセマー炉内で吹製するのであつて、この操作に成功したソ連は現在、各地の小工場でも原料銑の僅かな配給量に加えて自工場の戻り鋼屑を90~95%近

くも原料として計画以上の鋼材を生産しているようである。

## 2) 側吹小型ベッセマー法の特徴

側吹小型ベッセマー炉では、送風開始時の空気が熔湯表面を攪拌するためにFeは酸化され、同時にSi, Mnの一部も酸化されてFeO-MnO-SiO<sub>2</sub>熔滓を作る。こうして熔滓が熔湯表面を蔽うようになると、Si, Mnの酸化作用はいよいよ急速になつてくる。この点は電気炉精錬に於ける酸化滓による酸化精錬と同様に考えられるのであり、空気はこの際は常に熔滓中のFeOを媒介として熔湯の酸化作用を行うものであり、FeOの生成が重要な酸化の役割を演じているものである。

次に熔湯中のSiの酸化が終りかける頃には熔湯温度は1450°Cにも上昇し、熔滓中のFeO, SiO<sub>2</sub>, MnOによるCの酸化が起り、熔湯面でCOガスが発生する。このCOガスは炉内にある過剰のO<sub>2</sub>によつてCO<sub>2</sub>に変る。この点が底吹法と根本的に異なるのであり、底吹法では吹製時間の経過につれて空気中の遊離O<sub>2</sub>の全部は熔湯内を通過し、そのままCOとして発生するので、COの生成が圧倒的に多いのである。

従つて小型側吹ベッセマー法と大型底吹ベッセマー法とを比較すると、熔湯中のCの酸化による放熱量が異なり、大型の底吹法の方が遙かに放熱量が大きく熔湯温度は低下し勝である。この点からみても、側吹ベッセマー法で熔湯温度を始めから充分に高くしておけば、吹製精錬も平穩のうちに迅速に行われ、ガス含量の極めて少い比較的良質の鋼が得られることになり、これが、この側吹法の特徴であるといわれている。

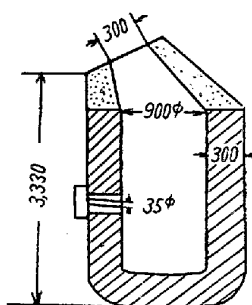
## 3) 高, 中, 低 Si 熔銑の吹製試験とその比較

### (i) 試験設備と方法

昔からベッセマー法では原料銑鉄中のSiは17%以上を必要といわれていたが、果して実際に銑鉄中のSiは多い方がよいのか、それとも少くてもよいのか、この点を確めるために原料熔銑中のSiを高, 中, 低の3段に分けて1.5t側吹ベッセマー炉で1948~1949年に亘つて、以下の条件で吹製試験を行つた。

実験条件、炉型及び寸法の大略は第1図の如し。熔鋼の深さ=432mm, 実際熔鋼量=1.75t, 羽口=35φmm×7 炉体内容積=1.53m<sup>3</sup>, 炉体内容積(m<sup>3</sup>)/鋼(t)=0.85, 炉体内容積(m<sup>3</sup>)/吹製鋼容積(m<sup>3</sup>)=6.20, 羽口総面積(cm<sup>2</sup>)/鋼(t)=38.5, このベッセマー炉1基に3.5tの熔銑炉1基が3.5mの高い位置に設けられていた。実験中のガス分析試料は炉頂から300mm下にあけた孔から取り出した。温度測定は熱電対と光高温計と

を併用した。熔鋼と熔滓の分析試料は吹製間 2~3min



第 1 図 試験用小型ベッセマー炉

毎に送風を止めて炉を倒して取つた。

(ii) 高 Si 法 (Si > 1.6%)

予備実験では吹製開始後に Fe-Si を 2 回投入して吹製を継続したが、炉内が暴風雨のような混乱状態を起して大量の熔湯がとび去り、設備の破損も大きく、しかも吹製時間は 25~30min も要した。そこで本実験(6回)では特に操作に注意し、以下の如き結果を得た。尙第 3 回試験結果は第 2 図に示す。

第 2 表 熔湯温度と吹製時間 (高 Si 法)

1) 熔銑炉より出湯時の熔銑温度(°C)	1300~1320
2) ベッセマー炉注入時の "	1260~1265
3) 吹製完了直後の炉内の熔鋼温度(°C)	1720~1760
4) 鑄型注入時の " " "	1550~1585
5) 吹製継続時間 (min)	17~24

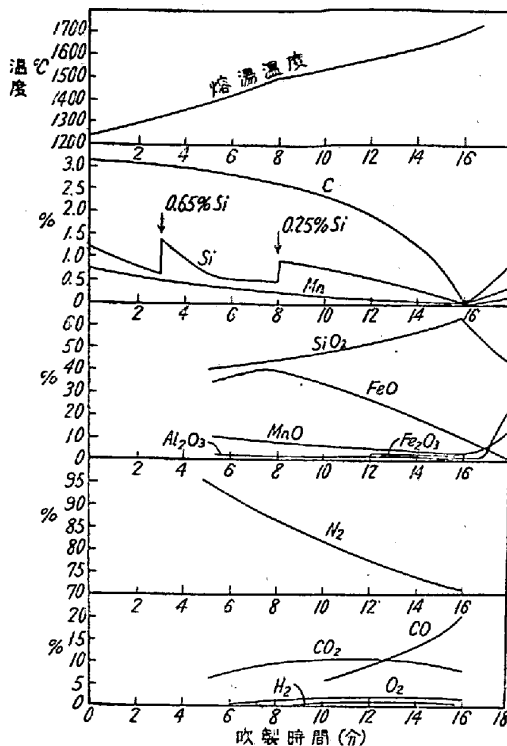
第 2 表によつてわかるが、吹製間に熔湯の温度は 455~500°C も上昇したことになる。尙この間に 2 回に亘つて、45% Si の Fe-Si 塊を炉内に投入している。従つて熔湯の Si の総量は 2.05~2.74% になつている。尙、吹製間の熔湯及び熔滓の組成の変化の一部は第 3、4 表に示した。

吹製期間内の熔湯の脱炭速度についてみると、吹製開始後 4min のとき 0.04%/min, 8min のとき 0.14%/min で、最後の 3min 内は特に脱炭が猛烈で 0.73%/min という速度に達している。このような脱炭速度はベッセマー法の特徴である。吹製開始後 8min 径て脱炭が速になりかけたときの温度は、1450~1530°C で、これ

第 3 表 熔湯組成表 (高 Si 法)

	C%	Mn%	Si%	S%	P%
熔銑炉より出湯時の熔銑組成	3.2~3.6	0.55~0.85	1.17~1.78	0.036~0.056	0.060~0.081
吹製完了直後 (脱酸剤投入前) の熔鋼組成	0.04~0.10	tr~0.06	0.10~0.068	0.034~0.044	0.055~0.070
脱酸後鑄型注入時の熔鋼組成	0.14~0.18	0.57~1.08	0.32~0.38	0.045~0.054	0.058~0.080

尙、取鋼中に投入の脱酸剤: Fe-Si(45%Si)=0.6~0.8%, Fe-Mn(75%Mn)=0.9~1.1%, Al=0.13~0.18%



第 2 図 高 Si 法 (Si > 1.6%) の一実験例

第 4 表 熔滓組成の一例 (高 Si 法)

	SiO <sub>2</sub> %	FeO%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
吹製開始時	42.0	40.42	2.58	15.98	1.35
吹製完了直後 (脱酸前)	66.5	19.09	6.25	6.36	2.00
取鋼内脱酸後	46.9	5.15	—	15.96	32.45

から猛烈な酸化作用が起り温度は上昇し、同時に大量の熔湯と熔滓がとび出した。吹製間に 2 回も Si を投入したが、第 2 回目の投入の際は熔湯温度は 1500°C 近くも上昇していたので、C の酸化が急激に起り始め、逆に Si の酸化は或る程度束縛されてきた。一方又、生成熔滓の層は厚くなつてきたので、発生ガスのために熔湯と熔滓の飛散が特に激烈を極めてきた。以上の現象から考えると、脱炭を激烈に起させないためには、先ず熔銑中の Si を必要以上に高めないことと、熔滓中の FeO を

多くしないことであり、こうしてCOガスを一時に大量発生させないことが必要であることがわかった。

尚、吹製後の鋼塊を圧延したままで機械試験を行った結果は以下の通りであった。

引張り強さ	伸び率	絞り率	衝撃値	ブリネル硬度
45.1~49.0	24.2 ~30.5	27.8 ~51.2	6.6 ~10.6	127~148

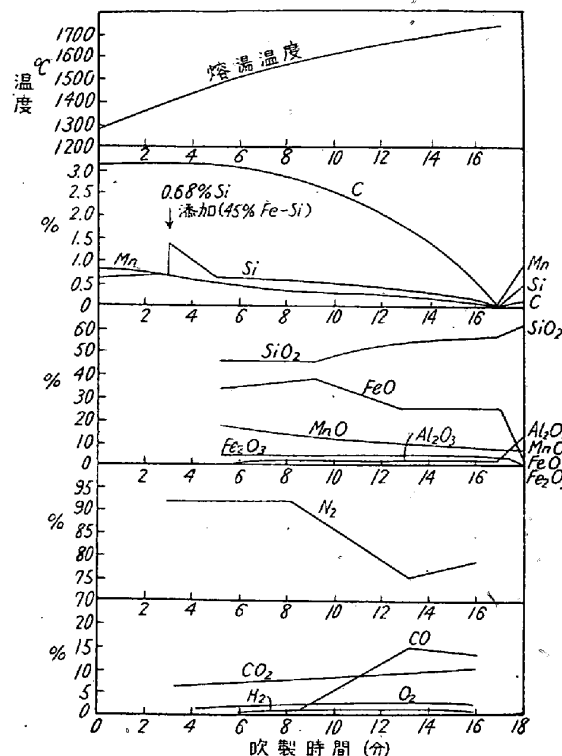
(iii) 中 Si 法 (Si 1.1~1.6%)

試験は 5 回行い其の状況は第 5, 第 6, 第 7 表に示す通りである。尚、吹製開始後に 45% Si の Fe-Si 塊

第 5 表 熔湯温度と吹製時間 (中 Si 法)

1) 熔銑炉より出湯時の熔銑温度 (°C)	1280~1340
2) ベッセマー炉注入時の " "	1230~1300
3) 吹製完了直後の熔鋼温度 (°C)	1715~1760
4) 鑄型注入時の " "	1560~1585
5) 吹製継続時間 (min)	9~17

を一回投入して熔湯の Si は 1.2~1.5% となった。第 5 表でわかるように、吹製中に熔湯の温度は 415~490°C 上昇している。



第 3 図 中 Si 法 (Si 1.1~1.6) の一実験例

第 6 表 熔湯組成表 (中 Si 法)

	C%	Mn%	Si%	S%	P%
熔銑炉より出湯時の熔銑組成	2.98~3.2	0.45~0.79	0.52~0.82	0.051~0.061	0.045~0.070
吹製完了直後(脱炭前)の熔鋼組成	0.04~0.08	0.04~0.07	0.03~0.28	0.027~0.047	0.057~0.065
脱炭後鑄型注入時の " " "	0.10~0.18	0.59~0.98	0.34~0.81	0.044~0.054	0.045~0.070

尚、取鍋中に投入の脱炭剤: Fe-Si(45%Si) = 0.8~1.0%, Fe-Mn(75%Mn) = 1.1~1.5%, Al = 0.15~0.20

第 7 表 熔滓組成表 (中 Si 法)

	SiO <sub>2</sub> %	FeO%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
吹製完了直後(脱炭前)	55.67 ~71.00	16.65 ~30.50	2.00 ~5.85	3.02 ~9.75	0.94 ~2.75
取鍋内脱炭後	49.15 ~60.70	6.75 ~11.50	1.95 ~3.67	9.4 ~15.0	18.00 ~24.70

以上試験中で第 3 回目の試験結果を第 3 図に示し、この吹製期間を 4 期に分けて以下説明することとする。

第 1 次期間 (0~5min の期間): 熔湯は猛烈に酸化されてその量を減じ、脱炭反応は緩漫に進行した。

第 2 次期間 (5~9.5min の期間): 初期脱炭が著しく進行する。温度は 1430°C で脱炭速度は 0.098%/min となる。

第 3 次期間 (9.5~13min の期間): 猛烈に脱炭反応が進行する、0.31%/min の脱炭速度となる。

第 4 次期間 (13~17.5min の期間): 脱炭速度は最大限に達し、0.37%/min の速度となり、熔鋼中の C は

0.04% に落ちた。

熔湯中の Si が最初は低いので酸化が緩漫であり、3min 後に Fe-Si を投入すると猛烈に酸化が起るが、5min 後には Si が低下したので再び酸化作用は緩漫となり、Si の酸化速度は 0.023%/min となっているが、この間に熔湯温度が 1500°C 以上になると、C の燃焼が起り始めるので、Si も Mn も酸化は更に一段と緩漫となっている。

尚、鋼塊圧延後の機械試験値は以下の如くである。

引張り強さ	伸び率	絞り率	衝撃値	ブリネル硬度
42.6~46.7	25.6 ~27.8	35.2 ~43.8	6.2 ~8.2	121~143

(iv) 低 Si 法 (Si < 1%)

吹製試験は 5 回行い、その状況は第 8, 第 9, 第 10 表に示す通りである。尚、吹製開始後 3min を経て 45% Si の Fe-Si 塊を 20kg 投入して、熔湯の Si は ~1% となった。第 8 表に示す如く、吹製期間中に熔湯温度は 450~480°C 上昇している。

第 8 表 熔湯温度と吹製時間 (低 Si 法)

1) 熔銑炉より出湯時の熔銑温度 (°C)	1270~1320
2) ベッセマー炉注入時の " "	1240~1270
3) 吹製完了直後の熔鋼温度 (°C)	1700~1730
4) 鋳型注入時の " "	1555~1575
5) 吹製継続時間 (min)	13~16

第 9 表 熔湯組成表 (低 Si 法)

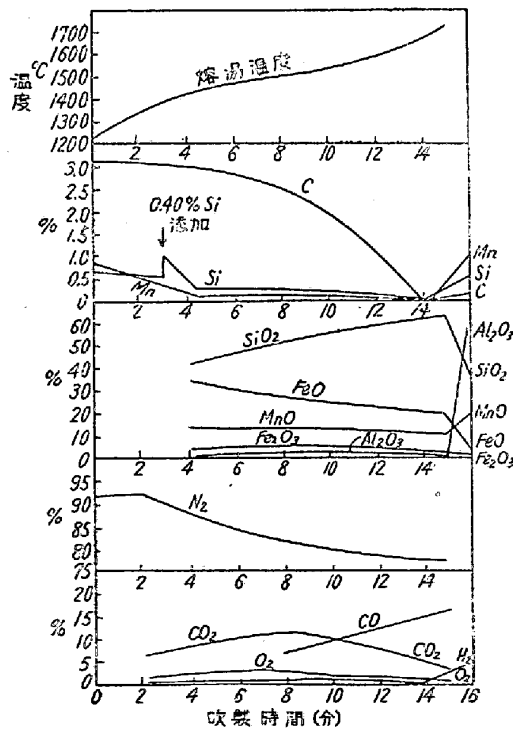
	C%	Mn%	Si%	S%	P%
(1) 熔銑炉より出湯時の熔銑組成	2.89~3.31	0.69~0.89	0.69~0.82	0.051~0.060	0.060~0.061
(2) 吹製完了後直後(脱酸前)の熔鋼組成	0.04	0.10	0.05	0.030	0.070
(3) 脱酸後鋳型注入時の " "	0.16	0.84	0.40	0.050	0.058

(2), (3) は第 3 回試験値のみ

第 10 表 熔湯組成表 (低 Si 法)

	SiO <sub>2</sub> %	FeO%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
炉内吹製開始時	45.6	33.9	2.05	16.0	1.75
吹製完了直後(脱酸前)	62.45	21.45	3.15	11.1	2.0
取鋼内脱酸後	32.95	4.65	—	19.95	42.0

第 3 回試験値を示す



第 4 図 低 Si 法 (Si < 1%) の一実験例

以上試験中で第 3 回目の試験結果を第 4 図に示し、この状況を以下少しく説明することとする。

熔銑をベッセマー炉内に注入後 3min して Fe-Si (45

%Si) を投入すると、炉内状況は良好となり、緩慢な脱炭作用が行われて、0.08%C/min の脱炭速度となる。特に 8~10min 以内は更に脱炭は急激に行われ、0.34% C/min の速度となり Si は 0.04% となる。Si の酸化は吹製開始当時は緩慢であるが、Fe-Si 投入後は Si の酸化速度は 0.32%Si/min となり、一時は盛んになるが、これも一時的で、それ以後は再び緩慢となり、4~

8minの間は僅かに 0.007%Si/min となる。しかし、終りに近づくにつれて Si の酸化速度が多少高まり、8~15min 間は 0.034%Si/min となる、これは熔湯中の脱炭が進んで大体完了に近くなつてくると、逆に鉄の酸化が或る程度まで起るような状況になつた為、Si の酸化が再び起り出したものと思われるのである。Mn の酸化は最初の数 min 間 (大体 4min 間) は進行し、SiO<sub>2</sub> の生成時には低下して 0.18%Mn となり、それ以後 11min 間は Mn の酸化は極めて緩慢となる。

尚、鋼塊圧延後の機械試験値は以下の如くである。

引張り強さ	伸び率	絞り率	衝撃値	ブリネル硬度
44.2~45.5	27.5	39.2	6.2	117~143
~29.0	~43.9	~8.9		

(v) 3 方法の優劣の比較

(a): 以上、熔銑中の Si 量を 3 段階に分けて吹製試験を行つた結果を見ると、製品鋼材の成分と機械的性質とは大体同様であり、しかも吹製間には炉内の熔湯中に Fe-Si を或る程度まで投入したために反応は順調に進行した。しかし、ここに考えるべきことは、大体同じような結果の鋼を作るのに熔湯中の Si 量 (投入 Si 量も合計したもの) が、1.0~2.7% という大きな開きを生じていることである。

(b): 高 Si 法では熔湯中の Si が充分に低下しないうちに C の沸騰が始まり、吹製末期近くになつても、尚 Si が高い、このために吹製末期に C が低下すると、Si, Mn の蒸焼が再び起り出すので C の低下をより進めることが困難となり、吹製終局点が明確を欠くこととなる。従つて 0.2~0.3% C 以下の軟鋼の製造は困難となり、若し 0.1% C の鋼を作るためには、吹製時間を無理に延長することとなる。このためには熔湯温度が低下する。

これに引きかえ、中、低 Si 法では Si の低下が早く起り C の燃焼が始まる時期には Si は既に落ちていて、C の酸化は比較的自由に、しかも終局になつても急激に進行するので、終局点が明確につかめるので、低 C 鋼でも製造出来る。

(c): 高 Si 法では吹製時間が低 Si 法に比して 40% も長く、熔湯の損失が多く、しかも鋼塊 t 当り 35kg の Si を結局浪費していることとなる。言いかえると、高 Si 法は時間と労力を増すだけでなく、過剰の Si を唯無駄に使用するだけである。

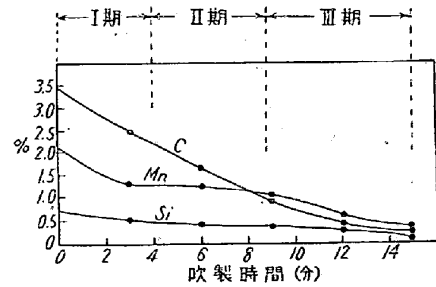
(d): 低 Si 法では熔湯の脱炭作用は Si, Mn が最低状況に於いて行われるので、最も合理的な精錬法であり、いわば、鋼精錬の基本条件に立つて熔銑の精錬を行つていゝもので、しかも操作時間は短縮され、従つて生産効率は高 Si よりも 40% も高めることが出来るのである。

以上の試験結果によつて、ベッセマー炉内へ注入する熔銑の温度を出来るだけ高めて、C の燃焼を早期に起させることは、低 Si 法による吹製が極めて有望であることが立証されたのである。

4) ソ連式小型ベッセマー法の研究と実際操作

(i) 底吹ベッセマー法による低 Si 過熱熔銑の吹製試験  
ベッセマー製鋼法の変遷を考えると、熔銑の化学成分の他に、熔銑の温度と設備等によつて種々の型式や方法がとられてきた。例えばスエーデン法、英国法、米國法ソ連法等等である。ここにいうソ連法とは高温過熱状の低 Si 熔銑を使用することをその特徴とするものである。この方法は一般にはスエーデン式低 Si 法として知られているものであるが、ソ連では 1937 年 3 月に既に底吹ベッセマー炉の経験からして過熱状の低 Si 熔銑 (0.81% Si) の吹製試験に成功したものであり、これこそソ連式の新過熱低 Si 法であると主張している。この試験では先ず低 Si 過熱熔銑を得る方法として、従来の熔銑炉によることを反射炉に変え、これに鋼屑と銑鉄とを混入して溶解した所が、1350°C の熔銑を出すことが出来た。これを底吹ベッセマー炉に注入して吹製間に 3min 毎に試料をとつて試験した結果は第 5 図に示す通りである。尙ベッセマー炉内注入時の熔銑組成は C=3.65%, Si=0.70%, Mn=2.01% であつた。吹製期間を 4 期に分けて状況を説明する。

第 I 期間内でも既に C の酸化が起つているが、これは装入熔銑が十分に過熱されていたためである。Si 及び Mn の燃焼が吹製の後期、すなわち第 III 期に特に著しいことは、これ等の元素の燃焼が、これ迄抑制されていたこととなる。これは熔湯が余りに高温のために C の方が



第 5 図 底吹ベッセマー法による底 Si 熔銑の吹製試験

早く燃焼を起した為であり、又、この時期になると、熔湯中の C 濃度が甚だしく低下し、前に吹き込まれた遊離 O<sub>2</sub> が多量に残存する為めと考えられる。このように熔湯が始めから高温で精錬されることは鋼質によい結果となると考えられるのである。

次に、底吹ベッセマー炉で、過熱熔銑法と非過熱熔銑法との吹製状況の相違を比較することとする。非過熱法では吹製初期は炉内には未反応の遊離 O<sub>2</sub> が相当多量に含まれており、従つて CO<sub>2</sub> が多く CO が少い。このことは底吹法としては酸化作用の緩慢なことを物語つていゝもので、熔湯内では未反応の O<sub>2</sub> が熔湯外に出て来てから既に熔湯内で反応生成して来た CO を酸化することとなる。過熱法では吹製開始と同時に熔湯内での脱炭反応が充分に進行し、吹入れ O<sub>2</sub> は完全に利用されている為、遊離 O<sub>2</sub> 量も少く、CO<sub>2</sub> 量も比較的少い。

以上の実験と考究によつてもわかるように、低 Si 過熱熔銑法はベッセマー法では極めて重要なことである。このことは銑鉄と鋼屑とを混入溶解して吹製時間を短縮し、精錬の困難と鋼塊の欠陥とを克服するもので、これがために熔銑炉の過熱費用を償還し、更に生産原価を低減するものであるといえる。

(ii) 側吹小型ベッセマー炉による低 Si 過熱熔銑の試験

前回同様の小型側吹ベッセマー炉 (1.5t) によつて、6 回の試験を行つた。炉体裏付には特に 10~15 kg の珪砂をスタンプしておいて熔滓の生成を容易にした。試験状況は第 11, 第 12, 第 13, 表に示す通りであり、この試験には吹製開始後は Fe-Si は投入しない。第 11 表に

第 11 表 熔湯温度と吹製時間 (ソ連式法)

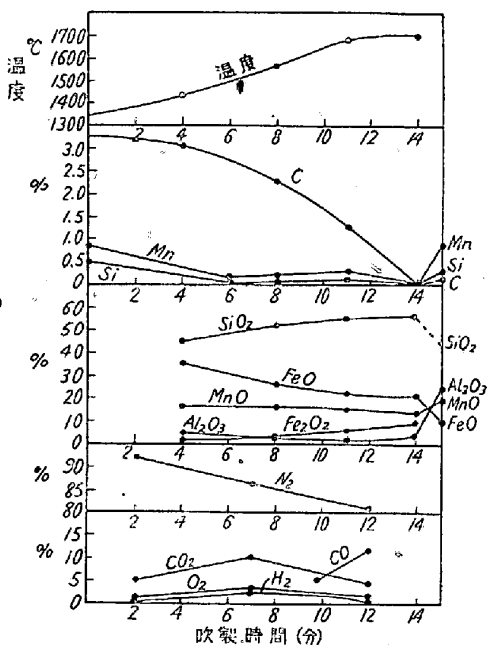
ベッセマー炉注入時の熔銑温度 (°C)	1360~1440
このときの炉体内の予熱温度 (°C)	1440~1520
吹製完了直後の熔鋼温度 (°C)	1685~1785
取鍋内へ傾注時の " "	1590~1620
鑄型内へ注入時の " "	1530~1570
吹製継続時間 (min)	7~14

第 12 表 熔 湯 組 成 表 (ソ連式法)

	C %	Mn %	Si %	S %	P %
ベッセマー炉注入時の熔銑組成	2.75~3.27	0.11~0.44	0.37~0.54	0.034~0.045	0.060~0.070
吹製完了直後(脱酸前)の熔鋼組成	0.02~0.15	0.04~0.09	0.04~0.15	0.029~0.056	0.047~0.065
脱酸後鑄型注入時の熔鋼組成	0.12~0.20	0.64~0.93	0.36~0.40	0.038~0.048	0.045~0.065

第 13 表 熔滓組成表 (ソ連式法)

	SiO <sub>2</sub> %	FeO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
炉内吹製	55.40	16.95	1.33	6.50	1.47
完了直後	~69.75	~25.85	~8.65	~11.90	~3.98
取鍋内	36.22	2.15	—	9.98	24.25
脱酸後	~63.41	~10.70	—	~22.05	~35.00



第 6 図 ソ連式低 Si 法の吹製試験の一実験例

見るように吹製期間中に熔湯温度は 265~340°C 上昇している。試験中で第 3 回目の試験状況を第 6 図に図示する。これについて特に以下説明することとする。

原料熔銑中の Si=0.52%, 装入熔銑温度=1360°C, 装入直前の炉内加熱温度=1500°C, 熔湯は吹製間に 340°C 上昇して 1700°C となった。

脱炭作用は吹製開始後 4min 迄は緩慢で 0.01%C/min の速度であり, 4min 後は速度が増して 0.19%C/min となり, 8~11min では 0.38%C/min の速さとなり, 脱炭は猛烈である。吹製終了期になると特に高くなって 0.44%C/min となり終局は 0.04%C の熔鋼となった。この結果を前の高 Si 法及び中 Si 法と比較すると, このソ連式法では全吹製期間を通じて脱炭が均等に行われることがわかる。すなわち, 熔湯の脱炭が爆発的に起らないので大量の鉄を炉内から放出することもな

く, 従つて燃焼減の浪費も軽減出来ることとなる。

Si の含量が最初から多くないので酸化されても発熱量も少く, 又 Si の降下も比較的緩慢である。吹製後 8min で熔湯内 Si は 0.08% となり, 14min では 0.04% となる。Mn は吹製開始と同時に酸化が起り, 8min 後では熔湯中の Mn は 0.10%, 8~11min (炉内温度は 1600~1700°C) では逆に熔滓内で還元作用を受けて 0.10~0.19% に上昇した。このように, 実際状況を見ると, 側吹の小型ベッセマー炉内では高温度となると熔滓中の Si, Mn は還元作用を起すこととなる, すなわち, 熔滓中の MnO, SiO<sub>2</sub> は熔湯中の C の作用によつて CO を発生すると共に, Si, Mn は熔湯中に戻るのだが, この際, 吸熱反応の為に熔湯温度を或る程度降下させるとは考えられる。

吹製完了後に炉体傾斜して取鍋中に注湯し (1600°C) 次にこの熔鋼中に脱酸剤として Fe-Si(45%Si)=0.8%, Fe-Mn(75%Mn)=1.1%, Al=0.16 を投入する。

脱酸以後の熔鋼組成	C %	Si %	Mn %	S %	P %
	0.20	0.40	0.93	0.043	0.045

鑄型内へ鑄込温度 1530°C

鋼塊圧延後の機械的性質	引張り強さ	伸び率	絞り率	衝撃値	ブリネル硬度
	41.4	25.0	31.9	8.3	127
	~47.1	~28.3	~41.8	~9.7	~131

5) 高 Si 法とソ連式低 Si 法との熱平衡並に原料問題

小型ベッセマー炉内で吹製期間中に熔湯の温度は 200~500°C は上昇するが, この間には僅かに炉の内壁に凝着している酸化鉄滓の保有する熱量以外は, 外部からの熱の供給はない。供給熱の大部分は C, Si, Mn の酸化熱によるものである。ベッセマー法として一般に行われている高 Si 法の本質は Si の酸化熱を基礎としているが, 小型側吹法では一般に重要な役割を演じるものは C の酸化である。しかし, ソ連式小型ベッセマー法は Si の酸化作用を無視して, 炉内に注入された熔銑の過熱によつて C の酸化反応を起させるものである。そこで以下にこれ等の熱平衡を考察するに当つて, 先ず側吹法につ

いてCの酸化現象を今一度吟味して見よう。

1470°C以下ではCの酸化力はMnより大きいがSiよりは小さい、しかし、1470°Cを越えるとCの酸化力はSi, Mnよりも大きくなる。従つて吹製間に熔湯温度が上昇して1470°CになるとCOガスが猛烈に発生するが、この一次発生COガスは炉内でCO<sub>2</sub>となり、Cの最大限の単位熱量に達することになる。この点が底吹法と側吹法との発熱量の著しい差を生ずる所である。勿論、Siの酸化熱量もCO<sub>2</sub>生成熱量に次ぐ大きなものであるので、所謂小型ベッセマー法としての従来の方法では、Siを1.5~2.0%にしておく必要があるものといわれた。しかし、ソ連式法では、この特性熱量をCの酸化(CO<sub>2</sub>)熱量と熔銑の持つてくる熱量とによつて供給し、これと実際需要熱量との差によつて炉温を上昇させることになつてゐる。

(i) 高Si法の熱平衡

高Si法の熱平衡を計算するに当つて、計算基準として以下の条件をとつた。

	C%	Si%	Mn%	S%	P%
(1) ベッセマー炉内注入時の熔銑組成	3.60	2.05	0.85	0.06	0.06
(2) 吹製完了直後の熔鋼組成	0.04	0.11	tr	0.06	0.06
(3) 酸化除去された不純物	3.56	1.94	0.85	—	—
(4) 吹製時間は20分とする。					

上の計算基準によつて、熔銑100kgについて、熱の来源と消耗との種類とを示すと第14表の如く表わされる。

次に第14表によつて、熔銑炉よりベッセマー炉内に注入された熔銑の温度を1260°Cとし、出鋼温度を1700°Cとして、この間の入熱量と出熱量とを計算すると第15表に示す如くなり、これによると精錬過程中に熱量の来源をなすものは、Cの酸化によるものが35.2%、熔銑の自然に持ち来す熱量は27.8%に達している。

これに比べてSi, Mn, Feの酸化熱量は僅かに26.2%

第14表 高Si法の熱平衡(1)

No.	来 源		No.	消 耗			
	kg	%		kg	%		
1	熔銑	100.0	66.0	1	熔鋼	90.65	60.0
2	空気	50.2	33.2	2	熔滓	10.44	6.8
3	炉床	1.25	0.8	3	ガス	50.36	33.2
合 計		151.25	100.0	合 計		151.45	100.0

に過ぎない。又、実際に有効に利用されている熱量は53%となつてゐる。

第14表によれば、理論上出鋼される熔鋼量は90.65%となつてゐる、すなわち、残りの9.35%は酸化消耗となる。この外に吹製中に機械的に吹き出される消耗量は12~15%となるので、高Si法の熔鋼の全損失量は21~24%となるのである。

ii) ソ連式法の熱平衡

ソ連式法の熱平衡の計算基準として以下の条件をとつた。

	C%	Si%	Mn%	S%	P%
(1) ベッセマー炉内注入時の熔銑の組成	3.27	0.52	0.86	0.04	0.07
(2) 吹製完了直後の熔鋼の組成	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07
(3) 酸化除去された不純物	3.23	0.48	0.81	—	—
(4) 吹製時間は8.5分とする。					

上の計算基準に基いて熔銑100kgについて、熱の来源と消耗の種類と重量とを第16表に示す。これによると、熔鋼の理論的残留量は94.58%となつてゐる。即ち酸化損失量は僅かに5.42%となる。しかもソ連式法では吹製間の機械的損失量は僅かに6~8%にすぎない。従つて全損失量は12~14%となり高Si法の半分近くである。

次に熔銑のベッセマー炉内への注入温度を1400°Cとし出鋼温度を1700°Cとして第16表によつて入熱量と出熱量とを計算すると第17表の熱平衡となる。これによ

第15表 高Si法の熱平衡(2)

No.	入 熱		No.	出 熱			
	KCal	%		KCal	%		
1	熔銑の持つてくる熱量	21.13	27.8	6	熔鋼の持つてくる熱量	32.45	45.9
2	空気の "	5.77	8.2	7	熔滓の "	5.06	7.1
3	Cの酸化熱量	24.81	35.2	8	ガスの "	19.98	28.2
4	Si, Mn, Feの "	18.59	26.2	9	水分の分解熱量	1.15	1.7
5	滓の生成熱量	0.43	0.6	10	熱損失(副射対流)	12.09	17.1
合 計		70.73	100.0	合 計		70.73	100.0



第 16 表 ソ連式低 Si 法の熱平衡 (1)

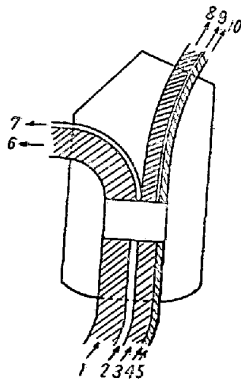
No.	来 源		No.	消 耗					
	kg	%		kg	%				
1	熔 銑	100.0	71.2	1	熔鋼	94.58	17.4		
2	空 氣	39.0	27.7	2	熔滓	4.72	3.4		
3	砂及灰床	1.5	1.1	3	ガス	41.20	29.1		
合 計			140.5	100.0	合 計			140.5	100.0

としているが、過去の高 Si 法では銑鉄と鋼屑とを大体 50%づつ使用していた。勿論、ソ連では現在でも此の高 Si 法をとつて多量の銑鉄を浪費している工場は数多くある。然し、低 Si 法によると従来の高 Si 法よりも 50%近くの原料銑鉄を節約出来るのであるから、ソ連としても、この新方法を推しすすめているわけである。第 18 表には 2 方法の原料を比較してある。大体各工場の経験によると、熔銑炉内での熔解は、銑鉄を少くし鋼屑を多

第 17 表 ソ連式低 Si 法の熱平衡 (2)

No.	入		No.	出					
	kcal	%		kcal	%				
1	熔銑の持込む熱量	26.63	43.3	6	熔鋼の持出す熱量	33.91	55.3		
2	空気の "	4.54	7.4	7	熔滓の " "	2.30	3.7		
3	C の酸化熱量	24.41	39.7	8	ガスの " "	16.33	26.5		
4	Si, Mn, Fe の酸化熱量	5.76	9.3	9	水分の分解熱量	0.87	1.4		
5	滓の生成熱量	0.20	0.3	10	熱損失 (副射, 対流)	8.13	13.4		
合 計			61.54	100.0	合 計			61.54	100.0

ると吹製間の熱の供給は熔銑の持ち込む熱量と C の燃焼による熱量とで 83% となり入熱量の主体をなしている。又、有効熱量は 59% となり、高 Si 法の 53% に比して遙かに大きな熱量を有効に利用していることになる。この熱平衡を図示すれば第 7 図の如くである。



第 7 図 ソ連式法の熱平衡図

(iii) ソ連式法の熔解原料と高 Si 法との比較対照

側吹小型ベッセマー法の主原料は言うまでもなく銑鉄と鋼屑とであるが、この研究試験の高 Si 法ではヘマタイト銑 (低 S, P 銑) と鉄合金とを多量使用した。しかし、低 Si 法では鋼屑量をずつと増加したので、原材料の消耗もずつと減少することが出来た。このように熔銑炉内で鋼屑の C を高めることが出来るので、特に高価な銑鉄を多量原料に使用しなくても、自工場の廃鋼品、銑鋼屑を充分に利用出来るのである。現在のソ連式低 Si 法では大体 5~7% の銑鉄と 93~95% の鋼屑とを原料

第 18 表 高 Si 法とソ連式低 Si 法との原料比較

No.	原 料 名	高 Si 法	ソ連式低 Si 法
		1t 原料中の 使用量	1t 原料中の 使用量
1	再生ベッセマー銑	0.45	0.05
2	ヘマタイト銑	0.12	—
3	鏡 鉄	0.03	—
4	高炉製 Fe-Si	0.05	—
5	鋼屑と戻り鋼	0.35	0.95
合 計		1.00	1.00

くした方が操業は簡単で、しかも、得られた熔銑中の C が側吹小型ベッセマー法の要求条件に極めて適しているというのである。

以上で高 Si 法とソ連式低 Si 法との原材料の比較をしたが、唯ここで特記すべきことは、原材料費の問題で、執筆当時 (1951年) の銑鉄と鋼屑の価格をもつて両方法の原料費を計算すると、ソ連式低 Si 法の方は 207.3 ルーブルだけ原料価格が低下することになっている。

次に、このソ連式低 Si 法の一設条件の優秀さを表示するために特に、高 Si 法と比較対照したのが第 19 表である。

最後にこの新方法であるソ連式低 Si 過熱熔銑法を実行する上に、特に重点とする所は以下の 3 点であることを強調する。

- (a): 熔銑炉内で鋼屑を増炭すること。
- (b): ベッセマー炉内に注入する熔銑の温度は 1400~1450°C であること。

第 19 表 高 Si 法とソ連式低 Si 法の条件比較  
(1951年)

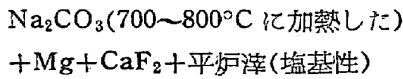
No.	条 件 事 項	高 Si 法	ソ連式低 Si 法
1	熔鋼 1t の原料値 (ルーブル)	575.8	368.5
2	転炉内注入の熔鋼温度 (°C)	1260	1400
3	炉体内の平均温度 (°C)	1325	1490
4	熔銑中の Si 量 (%)	2.05~2.74	0.37~0.54
5	熔鋼 1t の Fe-Si 消費 量 (kg)	35	—
6	平均連続吹製時間 (min)	20.5	8.5
7	吹製完了の熔鋼温度 (°C)	1720~1760	1650~1755
8	出鋼温度 (°C)	1640~1720	1590~1630
9	鑄造温度 (°C)	1550~1585	1530~1570
10	熔鋼の損失 (%)	15~16	6~8
11	鋼 滓 量 (計算値) (%)	10.44	4.72
12	有効熱量 (%)	53.0	59.0
13	製品鋼の分析		
	C	0.14~0.20	0.12~0.20
	Si	0.32~0.40	0.36~0.40
	Mn	0.57~1.08	0.60~0.93
	S	0.040~0.050	0.038~0.048
	P	0.056~0.080	0.045~0.064
14	鋼塊圧延後、		
	拡張力	45.2	45.4
	延伸率	27.0	28.4
	絞り率	40.8	48.3
	衝撃値	2.6	8.5

(c): 熔銑の組成は、C=2.8~3.6%, Si=0.3~0.5% であること。

(iv) 熔銑の脱硫方法

小型ベッセマー炉内に注入する熔銑は以下の2方法によつて脱硫の目的を達している。

(a): 熔銑炉から流出される熔銑中に下記の混合物を投入する。



(b): 熔銑炉に塩基性平炉滓と石灰石 (CaCO<sub>3</sub>) とを (40~45) : (10~15) の割合で混合して装入する。

以上2方法を行うことによつて如何に高Sのヨークスを使用しても 0.06~0.08% S まで熔銑は脱硫が出来ることと主張している。

6) 熔銑炉による鋼屑の熔解と蓄熱室の利用

ソ連式低 Si 法を実行する上には、どうしても熔銑炉内で鋼屑を多量熔解し、しかもヨークスの消費を少なくする方法をとらなければならない。所が、ここに問題となるものは鋼屑の滲炭作用であり、これにはどうしても、熔銑炉の廃棄ガスを利用し送風を加熱して、熔銑炉の熔解温度をあげて、熔湯の滲炭能力を増進さすようにすることが必要となる。以下この問題を2項に分けて報告す

る。

(i) 熔銑炉内の鋼屑の熔解と滲炭

曾てソ連の技師が大量の鋼屑を熔銑炉で熔解して 3.5% C の熔銑を得た、その後鋼屑のみを熔解して 2.7~3.0% の熔銑を得た経験がある。この際、鋼屑は熔解帯に来る迄に 1500°C 近くも加熱されており、表面は酸化されているので滲炭は起らず、従つて、この帯では唯熔解するだけで羽口下の湯溜りに溜まる。ここで温度が十分に高ければ熔湯は直接 C と反応して滲炭作用が充分に起るものと考えている。この結果として、熔銑炉内での鋼屑の滲炭作用の大小は、風量とか炉の効率には無関係で、ただ熔湯が湯溜り中に止まっている時間によつてきまるものであり、この中に長く保持されていて C と長く接触していることが滲炭を高める必須条件となるのであるから、出銑回数は出来るだけ少くして熔銑の湯溜り中での保持時間を長くすると同時に炉温を上げることが滲炭には先ず必要と考えられる。

次に滲炭作用にはヨークス量が基礎的な条件となるもので、ヨークスを増せば炉内での滲炭範囲を伸し、吸収C量を多くする。そこで羽口線以下の高さを高くするようにするのがよい。尙この際、人為的に熔滓量をましても滲炭量には効果はないといわれている。

以上の考えの下でソ連では小型ベッセマー用の熔銑を熔銑炉中で鋼屑から作つているが、一例として、固定 C 84~85% のヨークスで、3.2~3.5% C の熔銑を作りヨークス消費率は 12.5~14.5% の範囲に止めているという。又、4.5t の熔銑炉に 93% 鋼屑と 7% ベッセマー銑との比で装入して、ヨークス 65% と有煙炭 35% との混合燃料をもつて、14.5% の燃料消費率で、2.5% C 0.22% Si, 0.26% Mn の熔銑を 1400°C で出湯した例もあげている。

(ii) 熔銑炉に蓄熱室を設けて熔銑温度を高めること:

第1の方法: これはモスコウの中央科学研究所で研究したもので、1.5t 熔銑炉で装入口の下 1.45m の所に4本の熱ガス吸接管を設けて、ガスを一度蓄熱室中に暫時保留し、次に熱交換器を通過させて約 200°C となつたガスを煙突から出す。一方、通風管から入つた空気は熱交換器の隔壁の管を通つて 250~350°C に加熱されて風羽口に入る。この設備を3年来実施した結果は、熔銑炉の生産能率は 30% 高まり、ヨークスの節約は 9~15% 熔銑温度は 60~80°C 高まつたのである。

第2の方法: これも同所で研究されたものであるが、装入口の上部に放射状についた 12 本のラジエーター附の管が熱交換器となつている。この方が第1のものより

も効率がよく、熱風温度は 320~380°C になり、熔銑炉より出る熔湯の温度は 1500~1550°C にも上つている。コークスの節約率は 25% にも達している。

### III. 中共に於ける側吹小型ベッセマー製鋼法

#### 1) 中共の側吹小型ベッセマー法の現況

中共地区では終戦前から重慶の製鋼工場が 1.5t の小型側吹ベッセマー炉で普通鋼材を製造していたが、終戦後は華中地区の大冶鋼場に 1.5t 炉を 2 基と 4t 熔銑炉 3 基とを建設して鉄筋材を製造しており、華北地区の唐山にも 3t ベッセマー炉 2 基が建設され鋼製品を製造している。その他、山東方面の濰山にも 1.5t の小型炉が建設されている。勿論、これ等は何れも側吹ベッセマー炉で操業法も米國式で、高 Si 法をとつていたが、3 年前から次第にソ連式技術を取り入れて低 Si 法に向つて来ている。大冶鋼場の 1.5t 炉について見れば、3 年前までは、Si 1.6~1.8% で 1250~1300°C の熔銑を吹製していたが、その後は Si 0.8~1.2% で 1300~1350°C の熔銑を吹製し、吹製時間も 19~24min のものが 13~15min に短縮されている。2 基の一日吹製鋼量も 35~40t を 80~120t まで提高している。勿論中共の吹製法には特に目立つた特点是認められないが、しかし、ソ連式法を模範として、状勢の要求に近づけようと一日一日と努力の足を踏みしめている。しかも、技術の進歩は現場の足下からという根本的な考え方から出発している技術員と工人達の現況であるだけに、今後の向上進歩は大きいものであろう。

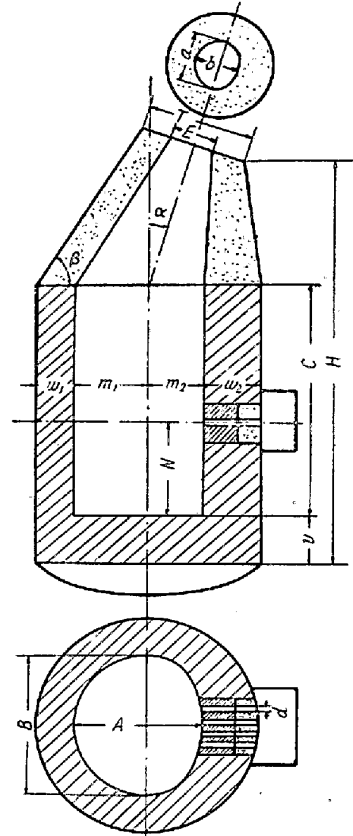
#### 2) 炉体及び設備の实例と改進状況

1.5t 炉と 4t 炉とは 2 工場で別個に設計したもので全く独立した形状寸法であるが第 8 図には 1.5t 炉の炉型を示し第 20 表には両者の寸法を表示した。

以上 2 つの型式のうちで、1.5t 炉は特に改進を重ねたもので、炉口部及び炉壁については特に勝れた成績をあげている。以下特に 1.5t 炉の耐火材料問題についてその改進過程を少しく説明する。

(i) 炉口部の形状: 炉口部は理論上は円形となるべきであろうが、実際に吹製中に熔滓がとび出す為次第に侵蝕されて D 字形になつてくる、そこで形状を始めから D 字形に作つておくことにしたが、その成績はよかつた。しかも炉口部は少し狭くした方が吹製間の成績はよかつた。

(ii) 炉頂部の裏付材料: この部分には以前は次の (a) 表のような配合成分のものを使用していた。これを手でスタンプしていたが寿命が短かく、大体 13~14 回、最高



第 8 図 1.5t 炉の炉型

第 20 表 小型ベッセマー炉體寸法と附属設備 (中共)

		記号	單位	1.5t 炉	4t 炉
炉の全高		H	mm	2,015	2,605
有効炉内高さ		C	"	1,435	2,130
炉底より羽口中 心線の高さ		N	"	385	550
炉胴部の内径		A	"	780	1,150
		m <sub>1</sub>	"	450	
		m <sub>2</sub>	"	330	
		B	"	900	
炉壁の厚さ		W <sub>1</sub>	"	230	315
		W <sub>2</sub>	"	330	
炉底の厚さ		v	"	260	275
炉口		T	"	660	880
外徑		E	" (旧)	300	400
内徑		a	" (新)	250	
		b	" (")	200	
炉口部傾斜角		alpha	°	30	41
		beta	"	60	40
羽口		d	mm	45	42~46
直徑				6	8
個數				95	208
中心間隔			mm	95.3	122
總面積			cm <sup>2</sup>	8~10	12~15
傾斜角			°	3~15	8~88
炉内容積/装入 熔銑容積				150	200
送風機 出力		HP		2900	2950
回轉數		r.p.m		3~4	5
風 圧		#/口"		104~55	110
風 量		m <sup>3</sup> /min			

(a 表)

人造硅砂 (硅石破碎粉)	河 砂	耐火粘土	耐火煉瓦粉
20%	20%	46%	14%

回の吹製で損傷するもので、この部分だけの修理回数が多くて生産の場高が困難であつた。その後は研究の結果次の(b)表の配合物を使用することにして寿命は延びた。

(b 表)

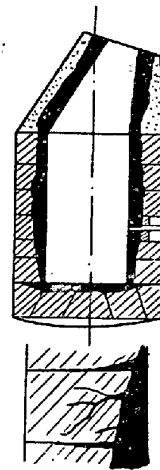
硅 砂 (硅石破碎粉)	耐火粘土	生 粘 土
70%	15%	15%

然しこの部分の損傷状況を詳細にしらべた結果によると損傷原因は耐火度によるよりも、機械的な原因によるものが多く、吹製中に内部層に多数の破れ目が出来て、これに熔滓が侵入して自然に崩れるものであることがわかつた。要するにスタンプの力が不足の為であることが問題である。そこでこの点に注意して鉄板製の内型を使用して、機械的スタンプ法を行うようになった結果は30~40回、時には50~60回も寿命が延びるようになった。

(iii) 羽口部の耐火材料: この部分は以前は四川省産の天然白硅砂石 ( $\text{SiO}_2=70\sim80\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=18\sim25\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=0.3\sim1.0\%$ ,  $\text{CaO}=0.3\sim0.9\%$ ,  $\text{MgO}=\text{tr}\sim0.14\%$ ) を加工していたが、特に熔滓に侵され易いので寿命は僅かに20~30回であつた。調査の結果は、吹製中に硅石に割れ疵が生じて、これに熔滓が侵入することと、熔滓中に炉頂部の裏付材が落ち込むために熔滓の流動性をまして、よく割れ目内に侵入するものであることがわかつた。そこで白硅砂石を使用前に  $800^\circ\text{C}$  に4~5hr 予熱して水分を除去し、又炉頂部の裏付のスタンプを堅くして落ちるのを少くしたので、寿命が50~60回に延びた。尙現在は硅石煉瓦の32番も使用しているが大体同様の寿命を持つている。

(iv) 炉胴部及び炉底部の耐火材料: 羽口部と同様の天然白硅砂石を加工して使用していたが、 $\text{SiO}_2$  の少いこと、使用前の予熱の不足なこと、及び目地部のすり合せの不十分の為めから寿命が短かつた。その後  $\text{SiO}_2=80\sim86\%$  の硅砂石を使用し、しかも予熱と目地部に注意を払つた為、炉胴部の寿命60~70回、炉底部の120~130回を200回まで延長することが出来るようになった。勿論これは原料熔銑が次第に低 Si になつて、吹製時間が短縮されるようになったことも、その一原因であろう。

(v) 炉体内部の侵蝕状況: 1.5t 炉の内部侵蝕状況は第9図に示すが、炉口部の侵蝕は大きく特に右端部の剝



第 9 図  
1.5 t 炉の侵蝕状況

離が大きい。これは裏付操作が不堅実な為、風圧と熔滓の衝突との為、機械的に剝離するものであることがわかる。炉胴部の侵蝕状況は図の下部に大きく示したように均一に侵蝕は起らないで、耐火物の空隙部、目地部或いは割れ目を通して熔滓が侵入して、これが次第に発達して剝離さすようになつている。これに反して羽口部の侵蝕は均一に進行していることから考えると、熔滓の化学作用が主体で、これに加えて耐火度の低いことが問題であることがわかる。特にこの部分には  $\text{FeO}$  の多い熔滓が、吹き込まれる風によつて羽口側に吹き寄せられ、而もこれには常に強い風があたるので損傷し易いこともわかる。

3) 吹製過程の改進状況

4t 熔銑炉の熔銑を 1.5t ベッセマー炉に注入して吹製後に 120kg 鋼塊に鑄造し、これを 600EP 圧延機にかけて 20~15mm の鉄筋棒鋼を製造する実際操作について、その改進状況の要点を以下説明する。

(i) 旧吹製法 (高 Si 熔銑法) の操作状況

改進前の操作法は Si 1.6% 以上の高 Si 法を採つていた。銑鉄及び鋼塊の組成は第 21 表に示す。

第 21 表 銑鉄及び鋼塊の組成 (旧吹製法)

	C%	Mn%	Si%	P%	S%
熔銑炉の原料銑鉄	3.8 ~4.2	0.8 ~1.0	1.8 ~2.2	0.03 ~0.04	0.04 ~0.06
ベッセマー炉注入の熔銑	3.5 ~3.8	0.8 ~1.0	1.6 ~1.8	<0.05	<0.06
鋼 塊	0.15 ~0.20	0.5 ~0.7	~0.3	0.04 ~0.06	0.04 ~0.06

原料銑鉄は良質の低 P 銑を使用し、これに少量の軟鋼屑を混入した。熔銑炉出湯後の吹製状況は以下の如くである。

熔銑炉出湯時の熔銑 ( $1300\sim1350^\circ\text{C}$ ) を取鍋中に注ぎ、藁灰をかけ 2~3min の鎮静後に熔滓を掻き出す。

第 22 表 吹製間の熔湯の変化状況 (旧吹製法)

吹製開始後	3~4 min	5~8 min	5~6 min	5~6 min	1~3 min	吹製完了
焰の状況	火花発生, Si Mn の酸化少し	火焰は黄色, Si, Mn の酸化	火焰は白色を帯び, C の酸化開始, 沸騰状態	火焰は白色より青色を帯びる, C の酸化急激となる	青色火焰は次第に藍色となり, 終末に近づくと細く短くなる	
風 圧	0.17~0.18 kg/口''	"	0.12~0.14 kg/口''	"	"	

全吹製時間 = 19~24min

尚, 注入の際に脱硫剤の  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaO}$  混合物を約 20 kg を 1/3 は取鍋底部に, 残りの 2/3 は熔銑と共に取鍋中に投入して脱硫を行う。尚熔滓除去後に更に  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  のみを上層部に少量添加して稟灰で蔽うて灰と熔滓とを完全に掻き出す。次にベッセマー炉内に熔銑を注入する (温度 1250~1300°C), 直ちに送風を開始する。(注入熔銑量 2t), 吹製間の熔湯の変化状況は第22表に示す。

吹製完了後, 直ちに炉体を 90° 傾斜し, Fe-Si (70%Si) を 18 kg, Fe-Mn (70%Mn) を 7 kg を熔湯中に投入し, 攪拌, 3min 鎮静中に熔鋼の脱硫試験を行う。次に熔滓を掻き出し取鍋中に出鋼する (熔鋼温度, 1580~1620°C) (熔鋼量 1.5t, 故に吹製間の損失量は約 25% となる)。取鍋内に 3~5min 鎮静後に 120 kg 鋼塊鑄型に鑄込む。(下注, 鑄込み温度 1550~1580°C)。

鋼塊圧延後の機械試験値	引張り強さ	伸び率	衝撃値	ブリネレ硬度
	45~53	18~24	5~9	120~130

第 22 表に示す吹製時間は一般の操業実例をとつたもので, 状況によつては 16~18min で完了するものもある。炉体修理後最初の使用の場合は, 炉体温度も低く, 又熔銑炉操業開始時の熔銑温度も低い場合は, Si, C の酸化がおそく, 全吹製に 37min を要した例もある。しかし, 吹製回数が増加と共に炉体温度は上昇し, それに熔銑温度が高い場合は 20min 以下で完了するようになる。このような状態になると吹製開始と同時に Mn, Si の酸化と同時に C の燃焼も起り, 3~4min で沸騰が起ることがある。ただこのような状態になつたものは Si, Mn が十分に落ちないうちに温度が上昇してしまうので C だけがどんどん燃焼してしまうので, Si, Mn は熔湯中に最後まで残り, 吹製の終り頃になつて C が低下して温度が少し降ると, Si, Mn が再び燃焼し始めるので, 赤い火花が出て収まりが悪くて操業上困難が多かつた。

(ii) 新吹製法 (低 Si 熔銑法) の操作状況

旧操作法並びに旧炉体についての幾多の欠点を検討した結果, 新たに炉材耐久度の提高, 予備修炉台の新設による乾燥及び予熱温度の徹底, 熔銑炉の改造による熔銑

温度の上昇, 更にソ連式低 Si 法の模倣等幾多の改進によつて現在の新吹製法が一般操作規定となつた。現在規定されている原料銑及び鋼塊の組成を第 23 表に示す。表中の原料銑銑は本溪湖の低 P 銑 4 号及び 5 号を使用することになつている。

第 23 表 銑鉄及鋼塊の組成規格 (新吹製法)

	C%	Mn%	Si%	P%	S%
熔銑炉の原料銑鉄	3.5~4.2	0.6~0.8	1.2~1.8	<0.04	<0.05
ベッセマー炉注入の熔銑	3.0~4.0	0.4~0.6	0.8~1.2	<0.065	<0.05
製品鋼塊 A	0.12~0.20	0.35~0.55	0.17~0.35	<0.075	<0.065
B	<0.12	0.25~0.55	—	—	—

尚ベッセマー炉に注入する熔銑温度は 1300~1350°C 熔銑注入前の炉体の予熱温度は 1200°C 以上と規定している。熔銑炉より出湯された熔銑はソーダ灰で脱硫することになつている。

(a) 熔銑炉操業: 原料銑鉄と鋼屑との配合比は, 銑鉄中の Si% に左右されるもので, 出湯熔銑中の Si を 1.0~1.1% を目標とした場合は第 24 表の配合規定を作

第 24 表 原鉄配合規定 (新吹製法)

原料銑鉄中の Si %	装 入 量 (kg)		
	銑 鉄	鋼 屑	(Fe-Si) (75%Si)
1.0	1145	0	3
1.1	1145	0	0
1.2	1100	45	0
1.3	1075	70	0
1.4	965	180	0
1.5	845	300	0
1.6	725	420	0
1.7	605	545	0

つている。この表は勿論 Si 1.0~1.1% の場合であるが, 更に低 Si 熔銑を求める場合は鋼屑量をそれだけ増せばよい。熔銑炉よりの出湯温度は 1350~1400°C となつており, 熔銑 1t につき 120 kg のコークス (固定炭

素 80~83%) を実際には使用している。熔銑損失は7% である。

(b) 出銑後の脱硫: 脱硫剤としてはソーダ灰 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) を鉄鍋で半融状まで焼いたものを 1/2~2' の塊とし、これを CaO と第 25 表に示す如く、熔銑中の S%

第 25 表 脱硫剤の混合比 (新吹製法)

熔銑中の S%	脱硫剤の混合比	
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CaO
<0.05	0	0
<0.06	15	5
<0.07	20	8
<0.08	25	10
<0.085	50	12

に応じた比に混合して使用する。熔銑中の S が 0.85% を越えた場合は規格の <0.05% までの脱硫は困難とされている。脱硫剤の投入方法は、熔銑が取鍋中に 1/5 位入った時に、徐々に加入し 4/5 位まで熔銑が入ったときに終るようにする。次いで鉄棒で熔銑をよく攪拌するが熔湯内では盛んに沸騰する。更に CaO を少量添加し 2~3min 後に沸騰が停止して後に熔滓を掻き出す。

(c) 炉体の乾燥と予熱: 炉体を小修理又は大修理後は必ず予備炉上で、そのまま乾燥、予熱を行い、予熱後はそのまま直ちに修理炉体と位置を交換して吹製を開始するために、操業は炉体 2 基が連続操業の型式をとられている。修理後の乾燥、予熱には充分な時間をとり、その温度と加熱の時間の規定は第 26 表に示す通りである。

第 26 表 炉体の乾燥、予熱時間 (新法)

乾燥、予熱温度	大修理	小修理
0~600°C	24 hr	20 hr
600~1200°C	12 "	4 "
計	36 "	24 "

(d) ベッセマー炉内の吹製状況: 改造後の吹製時間は第 27 表に示す如くで、旧方式に比して時間は著しく短縮されている。吹製時間の長短は、熔銑温度が高いとき、ベッセマー炉内注入の熔銑量が充分であつて、熔湯面上に送風が適切に吹きあつた場合で、この場合は C の酸化が早くおこり、最も短いものは 8min で完了した場合があります、長いものでも最高 18min であつた。

(e) 造塊操作: 吹製完了後に炉体を 90° 廻転し、Fe-Si (65%Si) を 17kg, Fe-Mn (60%Mn) と 7kg を湯溶中に深く投入し、後に脱酸試験を行い、除滓後に取鍋中に注入する。この際、湯が 1/3 位入った所で 0.5~

第 27 表 吹製時間表 (新吹製法)

	Si, Mn の酸化終了, C の酸化開始			
	吹製開始後	Si, Mn の酸化終了, C の酸化開始	C の酸化沸騰激烈	吹製完了時
早いもの (min)	2	3	4	9
少し早いもの (min)	3	3~4	5~6	11~13
一般状態 (min)	4	4	6	14
少しおそいもの (min)	5	4	7~8	16~17

0.6 kg の Al を投入する、(熔銑量は 1.65t)。取鍋内に 5~6min 鎮静後に 120 kg の鋼塊鑄型に注入する。(下注法)。(鑄込温度は 1550~1580°C)。

(f) ベッセマー炉内の吹製間の鉄損量: ベッセマー炉内注入の熔銑量は 2t で、吹製後取鍋内の熔銑量は 1.65t となる。故に吹製間の酸化及び機械的損失量は 17.5% となる。この数字は旧法式の 25% よりも遙かに少い。勿論これは熔銑の Si の低くなつたことと、吹製時間が短縮されたことがその原因であろう。

(g) 熔滓、熔湯組成の実例と鋼材の試験結果: 吹製完了後及び鑄込前の熔滓組成の実例は第 28 表の如し。

第 28 表 熔滓の組成 (新吹製法)

	SiO <sub>2</sub> %	MnO%	FeO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
吹製完了直後 (炉内)	58.98 ~63.26	7.00 ~7.92	24.23 ~32.18	1.45 ~2.30
Fe-Mn, Fe-Si Al で脱酸直後 (炉内)	59.94 ~63.94	8.20 ~12.42	16.68 ~20.99	6.25 ~7.57
鋼塊鑄込後 (取鍋内)	49.24 ~60.48	10.71 ~22.21	10.05 ~18.06	9.43 ~14.95

尙この熔滓試料を採つた場合は、熔滓は炉内で除去せずに、熔湯と共に取鍋中に注入したものである。又、熔滓中の FeO が脱酸剤投入直後よりも、取鍋内での減少の大きくなつているのは、主として脱酸剤の作用によるものであろう。

ベッセマー炉内注入の熔銑及び製品鋼塊の最近の実例は第 29 表に示す。最近は原料銑鉄に本溪湖の低 P 銑 4 号を多く使用するようになったので熔銑の P も次第に低下して来ており、鋼材も組成規格に難なく合格している。一方又、この熔湯を 0.4%C 程度まで中間吹きをして、熔湯のまま電気炉に装入して特殊鋼の製造の原料としている。

鋼塊圧延後の機械的性質	引張り強さ	延び率	衝撃値	ブリネル硬度
	42~50	20~28	6~10	115~130

第 29 表 最近の熔銑及鋼塊組成の実例 (新吹製法)

	C%	Si%	Mn%	P%	S%
ベッセマー炉内 (A) 注入の熔銑 (B) (C) (D)	3.71	1.12	0.47	0.050	0.040
	3.41	1.10	0.45	0.052	0.045
	3.55	1.03	0.42	0.055	0.055
	3.47	0.93	0.46	0.050	0.052
鑄込後の 鋼塊 (A) (B) (C) (D)	0.15	0.18	0.38	0.050	0.060
	0.15	0.24	0.45	0.052	0.054
	0.14	0.19	0.34	0.052	0.052
	0.15	0.31	0.50	0.058	0.064

尙、鋼材の顕微鏡検査によると、MnS の紡錘状介在物が所々見られるが、これは Mn の低いために、MnS の生成が比較的低温で起つている為めと思われる。熔鋼中に Mn を多くすればこの欠陥は除去されるものと思われる。

## IV. 総 括

以上、大略ながらソ連式低 Si 過熱熔銑法による小型側吹ベッセマー製鋼法の発展過程と特徴とを報告し、併せて現在向上の途上にある中共の小型ベッセマー法の状況も説明したのであるが、要するに、簡単な設備と操作とをもつて、原料銑の Si 量には特別の制約を与えなくとも、唯、熔銑を今迄よりも 100~150°C 近く高温にすることによつて、安価に製鋼することが出来、しかも、その鋼質も決して今迄考えられていたような悪いものではないというのである。「物も、量も質も限度なく向上進歩する」という根本的な考え方に基いて、国内状況の大きな要求をよく考慮しながら、環境に最も適した条件をもつて、古くさい方法とはいふが、地道を歩いて兎に角要求を満足しているのである。こうして総てを経験と実際とに立脚して正しく理論化した技術が、そのときの要求と経済とにびつたりと合致した場合は、これを広く押し進めるのが彼等のやり方である。(昭和29年7月寄稿)

## 書 評

## “TITANIUM IN STEEL”

G.F.Comstock, S.F.Urban & M. Cohen,  
Pitman Publishing Corp.,  
1949. New York.

著者 Comstock 等は米国 Titanium alloy Mfg. Co. にあつて永年チタン鋼の研究に従事して来たことは周知の通りで、本書はいわば著者等のこれまでの研究報告の集大成である。

鋼中の合金元素としてのチタンの役割はすでに古くから知られているが、その工業的応用は必ずしも確立されていながつた。わが国ではことにその消長が甚しかつたが、最近鋼中の窒素の問題の擡頭、あるいはボロン鋼の発展とともに再びチタンが注目されるに至つている。

鉄鋼中のチタンの作用は、(1) 脱酸、脱硫、粒度調製、(2) 窒化物安定、(3) 炭化物安定、及び (5) 合金元素に大別される。チタンの用途は周知のオーステナイト鋼の炭化物安定剤としての応用より一歩進んで、最近はリムド鋼への添加、耐熱鋼の合金成分、あるいは窒素調

節に対する応用にまで発展している。

本書は先ず [1] チタンの鉱石、資源より解説し、次いで [2] 鋼中のチタンの化学冶金、[3] 平衡状態図、[4] リムド及びキルド鋼中のチタン、[5] 鑄鋼中のチタン、[6] 鋼の組織、焼入性、[7] 鋼の性質に及ぼす一般的影响、[8] 低合金鋼中のチタン、[9] 歪時効に対する影響、[10] エナメル用鋼、[11] ステンレス鋼の炭化物安定化、[12] チタン鋼の析出硬化、[13] 耐熱鋼及び耐熱合金の 13 章よりなり、各章何れも 20~25 ページをあてている。

鋼中の合金元素の機能を集録した著名な McGraw Hill の alloys iron monograph series には未だチタンに関する叢書は発行されていないから、本書はチタン鋼に関する最初の欧文書として鉄鋼材料メーカー及び研究者の参考とならう。ただ輸入されたのは比較的最近であるが、引用文献は 1948 年までであり、従つてここ 5 年間の進歩は紹介されていない。(320pp, 164 図, 94 表, 文献 274; \$ 7.50) [長谷川正義]