

製鋼工場に於ける品質管理の一例

下山田正俊*・松永 昭**

AN EXAMPLE OF QUALITY CONTROL IN THE
STEEL-MAKING PLANT*Masattoshi Shimoyamada and Akira Matsumaga*

Synopsis:

Quality control has been recently adopted in various fields of industry and now the authors gave a glance at it in their steel-making plant.

Steel-making operations are divided into four parts; namely material preparation, melting, refining and teeming, so some examples in each operation were shown.

1. Material preparation :

Pig iron and scrap steel were classified and the ratio of pig iron to scrap steel used was determined according to the quality of steel to be produced, in order to make succeeding operations easier.

2. Melting operation :

In the melting period, the most suitable carbon content at melt-down was aimed at to get the shortest heat time, which proved to be 0.55% C and 0.65% C for sheet and plate steel respectively in the 35t O. H. F. and 0.45% C (sheet steel only) in the 70t O. H. F.

In the acceleration of combustion by using oxygen through furnace-end burners, most advantageous method or "6-5-4 method" is being adopted. According to this method, oxygen flows into the furnace in the rate of 6m³/min., 5m³/min. and 4m³/min. for the three periods of one-hour from the start of charging, 2 hours, therefrom and the remaining time till melt-down after that, respectively.

3. Refining :

To improve the weldability of the hull plate, a chart was prepared which showed the suitable weight of ferro-manganese to be thrown into ladle to make Mn/C in steel over 2.5.

4. Teeming :

In pouring, standard operations were as follows :

a) To decrease the brick and clay marks of ingots, silica mortar was used and newly lined ladle was avoided.

b) A wooden plate was floated over the molten steel in each of six molds around the central pouring well in the bottom pouring, in order to reduce violent metal splashes, which might cause scabs of ingots.

I. 緒 言

品質管理方式が日本産業界へ導入されて以来すでに5年余を経過したが、其の間各産業部門では真剣に採り上げ作業能率の向上、生産の合理化に偉大な役割を果たして来た。

わが工場においても製鋼、圧延、成品其の他の各工場に品質管理方式を適用し、尙未解決の問題を多く残して

はいるが、良い製品を安くつくるという品質管理の終局目的に向つて着々漸進しつつある。

茲に当製鋼工場における品質管理の一端を示し其の概要を紹介する次第である。

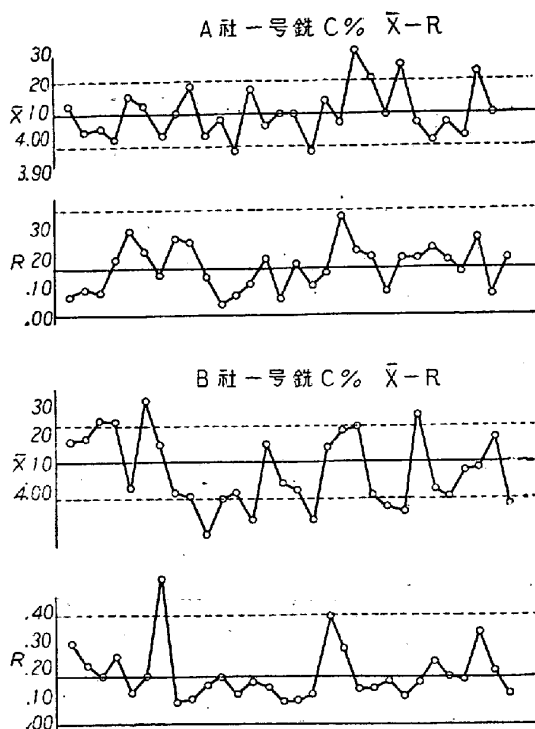
* 川崎製鐵株式会社葺合工場 製鋼部長

** 川崎製鐵株式会社葺合工場 品質管理課

II. 材料管理

(1) 銑鉄の管理

入荷銑鉄は解より水揚げするがこの際 20t ごとに1個の試料をとり各成分について分析する。分析結果は各メーカー別銑鉄分析表に記録され、又 C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr に関しては $n=4$ の $\bar{x}-R$ 管理図を作製して居る。(第1図参照)



第1圖 成分分析値の管理

使用に際しては分析結果をみて鋼種別に使用量を規定して居る。

(2) 屑鉄の管理

当工場における装入屑鉄の内訳は略購入屑鉄 43%、%還元屑鉄 20% であるが、次の様な管理段階を経て平炉へ装入して居る。

- イ) 製鋼、倉庫、購買各関係者立会の下に格付を行う。
- ロ) 格付により1級、2級、級外と判定し水揚げ使用する。但し特殊鋼、銑鑄物、色物、爆発物、硫化物、その他の異物混入の多いものは別の山に水揚げして分類撰別する。
- ハ) 嵩張のものは瓦斯にて熔断し、薄物、ドライ粉はプレスして使用する。
- ニ) 屑鉄の山より装入箱へ積込む時更に異物は撰別する。
- ホ) 原料樹においては装入箱の満載より判定して第

1表規格別原料配合基準表に則り製造鋼種別に振り分け平炉へ送る。

第1表 規格別原料配合基準表

	屑鉄			銑鉄			
	1級	2級	級外	新銑		古銑	
				1號	2號	上	普
特	80	20	0	100	0	0	0
撰	70	30	0	70	25	5	0
普	60	40		30	55	10	5
並	<20	>80		0	70	20	10

斯くの如く購入屑鉄の品質は入荷時に管理され更に装入時まで管理される訳であるが、銑鉄配合率 35%~40% で操業して居る当工場では、屑鉄の品質如何が鋼品質を左右する事大であるので此の点に特に留意し製造鋼種と屑鉄の品質に応じてその使用割合を規定し、これに副うように作業して居る。

III. 熔解精錬作業管理

生産能率を上昇せしめる為には製鋼時間を短縮することは不可欠の要件であるが、この為種々の手段方法が講ぜられている。其の例として熔落炭素量を適当に調整することと、酸素を助燃に効果的に使用することによつて製鋼時間を短縮する方法とに就いて述べる。

(1) 熔落炭素の管理

A. 製鋼時間の解析

No.1 炉 (35t 重油炉) について熔落炭素に対する製鋼時間の関係を求める為、昭和 25 年 9 月 16 日より 12 月 15 日までの酸素を使用しないヒートについて資料を蒐集した。

今熔落炭素を x 、熔解時間を y で表わすと両者の関係は

$$y = 284.4 - 0.85x + 0.0039x^2$$

(但し時間は分を、熔落炭素は 0.01% を単位とする)

となる。又熔落炭素を x 、精錬時間を y とすると

$$\text{薄板 } y = 65.7 - 0.29x + 0.0058x^2$$

$$\text{厚板 } y = 77.4 - 0.52x + 0.0062x^2$$

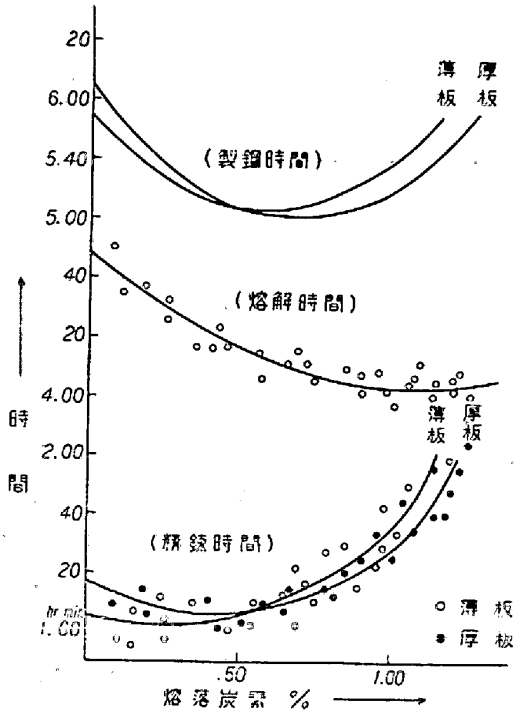
となる。そこで熔落炭素を x 、製鋼時間を y とすると

$$\text{薄板 } y = 355.1 - 1.14x + 0.0097x^2$$

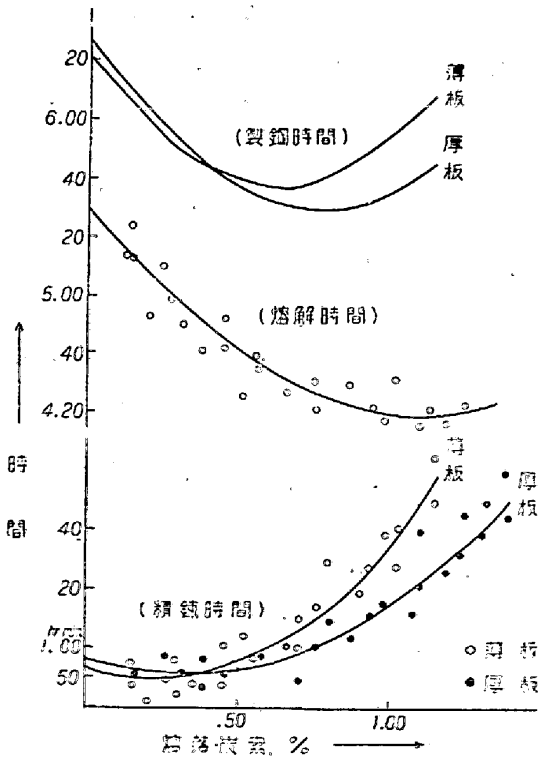
$$\text{厚板 } y = 366.8 - 1.37x + 0.0101x^2$$

を得る。こゝにおいて製鋼時間を最も短くすることの出来る熔落炭素の量は

薄板に関しては $x=58.7$
 厚板に関しては $x=67.8$ である事を知る。



第2圖 熔落炭素と熔解時間
 製錬時間及製鋼時間 (No.1—35t 炉)



第3圖 熔落炭素と熔解時間
 精錬時間及製鋼時間 (No.9—35t 爐)

No.9 爐 (35t ガス炉) についても同様な計算を行つた。結果を記せば

熔解時間と熔落炭素 $y=329.9-1.22x+0.0052x^2$

精錬時間と熔落炭素 { 薄板 $y=53.7-0.29x+0.0068x^2$
 厚板 $y=57.1-0.31x+0.0046x^2$

製鋼時間と熔落炭素 { 薄板 $y=383.6-1.51x+0.012x^2$
 厚板 $y=387.0-1.53x+0.010x^2$

となり、製鋼時間を最小ならしめる熔落炭素量は
 薄板に関しては $x=63.1$
 厚板に関しては $x=76.0$

である。

No.10 炉 (70t ガス炉) についても全く同様な解析を行つた。

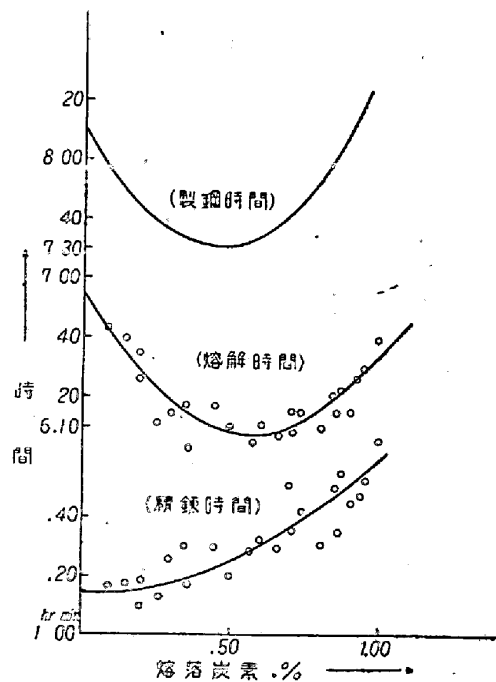
熔解時間と熔落炭素 $y=417.0-1.76x+0.015x^2$

精錬時間と熔落炭素 (薄板のみ)
 $y=74.0-0.00758x+0.0046x^2$

製鋼時間と熔落炭素 $y=491.0-1.77x+0.0196x^2$

となり、製鋼時間を最小ならしめる熔落炭素量は
 $x=45.2$

である。

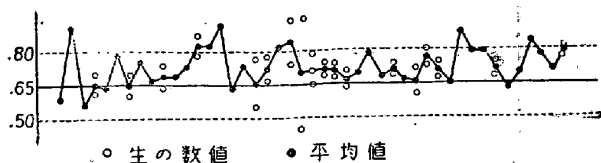


第4圖 熔落炭素と熔解時間
 製錬時間及製鋼時間 (No.10—70t 炉)

B. 管理方法

前述の解析の結果に基づいて我々は 35t 平炉においては薄板の場合には熔落炭素の目標を 55 ± 15 , 厚板の場合には 65 ± 15 とし, 又 70t 平炉においては熔落炭素の目標を 45 ± 10 とし, これを材料関係者に周知せしめ X 管理図によつて管理を続けている。

之に附随して材料装入関係者の作業上の指針を得べく努

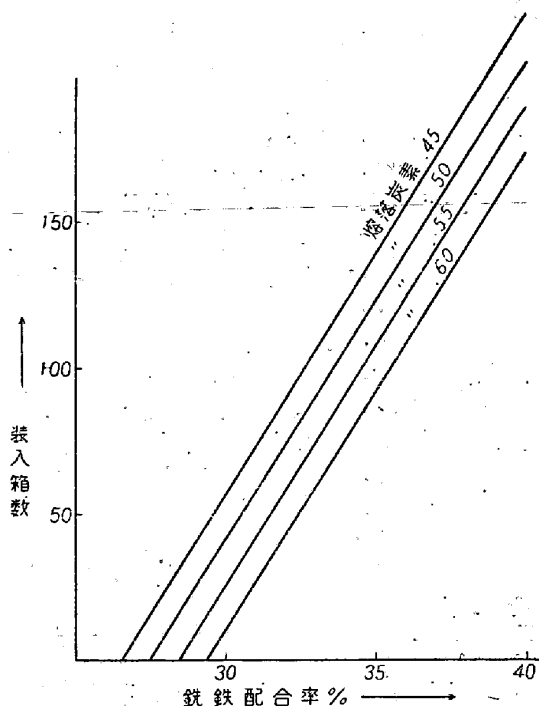


第5圖 No.1—35t 爐厚板材熔落炭素，X管理圖
(目標値 .65±.15)

力中である。一例を挙げれば、No. 10 平炉においては
装入箱数と銑鉄配合率に対する熔落炭素の關係は

$$Z = -16.425 + 2.66x - 0.32y$$

ここに Z: 熔落炭素, x: 銑鉄配合率, y: 装入箱数
であり、屑鉄の状態より y を推知し得るから x を決定す
ることが可能となる訳である。但し製鋼各期の時間は銑
鉄配合率、スクラップの品質、燃料状況によつて変化する
ので、之等に大きな変動がある毎に上述の解決を行つ
て目標を定める必要があるであろう。



第6圖 熔落炭素銑鉄配合率及装入箱数の關係
(No.10—70t 爐)

(2) 酸素による助燃方式の確立

A. 酸素による助燃実験

ガス噴出口両側より酸素を吹き込む所謂サイドバーナ
ー方式による助燃の効果が酸素流量と共に変化する状態
を知り、以つて酸素の経済的使用に資する為炉況及び他
の諸条件を略一定にして第2表の方式に従つて12 ヒー
トについて実験を行つた。(No.5, 35t ガス炉)

第2表 各時期に於ける助燃酸素流量計畫表

方法 時期		A	B	C	D	E	F	G
		酸素 流量 (m ³ /min)	装入開始 後1時間	8	7	7	6	6
	装入開始 後2時間	6	7	6	6	5	5	4
	熔解迄	4	7	5	6	4	5	4

この実験結果を分析の結果

イ) 助燃ヒートは比較基準ヒートに比べて熔解時間及
び製鋼時間が有意に短い。

ロ) 助燃ヒートにおいては燃料原単位は有意に少い。

ハ) 使用酸素量が大なる程製鋼時間が短い。

ニ) 助燃酸素流量が大なる程熔解時間及び製鋼時間が
短い。

を知り得る。然し何れの方式が経済的に有利であるか、
これのみにては判明しないので更に次の実験を行つた。
即ち No.5 炉において可能な限り諸条件を一定にして第
3表の方式に従つて 20 ヒートの実験を行つた。実験に
当つては各方式同回数だけ実験する予定であつたが、種
種の關係で結局 A, B, C, D, E 法夫々 2, 3, 5, 4
3 ヒートの実験結果を得るに止まつた。

実験結果を第4表に示す。

第3表 各時期に於ける助燃酸素流量計畫表

方法 時期		A	B	C	D	E*
		酸素 流量 (m ³ /min)	装入開始後1時間	7	7	6
	次の2時間	7	6	6	5	0
	熔解迄	7	5	6	4	0

(*E 法は助燃の効果をみる爲に挿入したものである)

第4表 方法別装入時間熔解時間実績

方法	装入時間	平均	熔解時間	平均
A	1hr-55min 2-05	2-00	3-45, 3-35	3-40
B	1-30, 1-30 1-45	1-35	3-20, 3-30 3-46	3-32
C	1-20, 1-20 1-40, 1-55 1-45	1-36	3-15, 3-55 3-50, 3-55 3-35	3-42
D	1-00, 1-35 1-20, 1-40	1-24	3-20, 3-35 3-30, 4-05	3-40
E	1-50, 1-40 2-00	1-50	5-00, 4-00 4-50	4-43

実験結果を分析するに

イ) 熔解時間, 精錬時間従つて製鋼時間は A, B, C, D 法の間には差がなく A, B, C, D 法と E 法との間に有意差が認められる。

ロ) 良鋼 t 当り酸素使用量は D 法が最小である。

ハ) 熔落炭素に関しても D 法に不利な点はない。

B. 管理方法

かくして結局酸素の経済的使用という面から考えて D 法が優れていることが認められる。即ち D 法は良鋼 t 当り酸素使用量は少いが, その熔解時間において他の方法に比し遜色なく且つ熔落炭素に関しても不利はない。そこで現在酸素助燃に関してはこの方式を採用している。

(3) Fe-Mn の投入量管理

最近熔接に伴う冷間脆性の問題に絡んで造船材の $Mn/C > 2.5$ が非常に嚴重に要求されるようになった。そこで Fe-Mn の投入を適正にして Mn/C が希望の範囲に入るようにする為取鍋試料の Mn% を Fe-Mn の取鍋投入量, Fe-Mn の炉内投入量, Fe-Mn 投入前の C% Fe-Mn 投入前の Mn% に関係ずけて重相関分析を行つた。

x: Fe-Mn の取鍋投入量

y: Fe-Mn の炉内投入量

Z: Fe-Mn 投入前の C%

u: Fe-Mn 投入前の Mn%

v: 取鍋試料の Mn% とすると

$$x = -0.92y + 15.59z - 104.34u + 71.56v + 260.66$$

となる。この式より y, Z, u を知つて v を Mn/C が 2.5 以上になるようにする為 x を如何程にすべきかを求めて図にしたのが第 7 図である。

茲で熔鋼の温度, 鋼滓量及び塩基度, 精錬の進行状態等が問題になるが, 通常の作業はこれらの条件は略一定になるように進められるので第 7 図に従えば所期の目的はほゞ達し得られる。

わが工場においてはこの図による方法を現場作業の目安として効果を挙げている

IV. 造塊作業管理

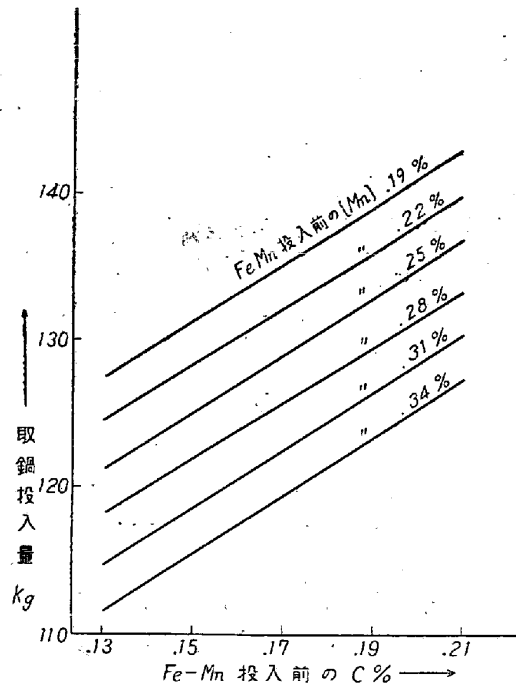
(1) 煉瓦疵の管理

A. 煉瓦疵に関する実験

煉瓦疵の発生原因は複雑で幾多の要因が考えられるが製鋼工程における発生箇所別に大別すれば下記の通りである。

煉瓦疵発生原因

a. 取鍋 1. 湯当り部煉瓦脱落



第 7 図 Fe-Mn 投入前の [C], [Mn] と取鍋投入 Fe-Mn 量の関係 (Fe-Mn 炉内 160kg 投入の場合) (35t 爐)

- 2. ストッパー, ノズル口脱落
- 3. 目地トロの脱落
- b. 注入管 4. 漏斗湯当り部熔損
- 5. 漏斗取付部トロの過多及び脱落
- 6. 管部下端取付用トロの過多
- 7. 底部の熔損
- 8. 湯勢により欠損
- c. 湯道煉瓦 9. 目地トロの過多
- 10. 湯道内清掃不十分
- d. 鑄型 11. 造塊屑運搬中上部より落下
- 12. 底部清掃不十分, 定盤の不良
- 13. ケース上通行中トロ及び煉瓦屑の落下
- 14. ケース底部目打トロの侵入
- e. その他

上記の煉瓦疵発生原因について検討を行う為, 定盤煉瓦用トロの種別, 取鍋使用回数, 定盤, 鋼塊内位置を要因にとり四重項繰り返しの実験を行つた。

実験は 18 ヒート (各ヒート 4 定盤—1 定盤の鋼塊本数は 14 本である) の鋼塊を使用した。又煉瓦疵の表現方法は次によつた。

煉瓦疵を大 (長さ 200mm 以上) 中 (長さ 200mm ~ 50mm) 小 (長さ 50mm 以下) に分類し夫々の発生個数を数え鋼塊一本当りの個数の平均を算出した。

尙本実験の鋼種は高級仕上鋼 (Al 及び Si キルド) で小型扁平鋼塊, 下注, 頭部水張法によつたものである。

第 5 表に小煉瓦疵に関する分散分析表を示す (大,

第5表 小煉瓦疵分散分析表

		S.S	f	V	F _{0.05}	F _{0.01}	
		平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比		
T	トロ別 定盤別 鋼塊内 位置別 鋼回数別	32,934.0	2	16,467.0	16.21**	3.09	4.82
M		26,794.2	3	8,931.4	8.79**	2.70	3.98
A		20,626.9	2	10,313.5	10.15**	3.09	4.82
C		17,017.6	2	8,508.8	8.38**	3.09	4.82
M×A	二重 交互 作用	4,744.1	6	790.0			
A×C		4,543.9	4	1,136.0	1.12	2.46	
C×T		9,177.9	4	2,294.5	2.26	2.46	
T×M		6,399.4	6	1,066.6	1.05	2.19	
M×C		19,908.8	6	3,318.1	3.27**	2.19	
A×T		2,935.3	4	733.8			2.99
M×A×C	三 交 互 作 用	10,982.2	12	915.2			
M×A×T		4,526.8	12	378.9			
M×C×T		6,260.8	12	521.8			
A×C×T		15,876.4	8	1,984.6	1.95	2.03	
C×T×M×A	四 重 計	7,455.7	24	310.7			
E		109,698.0	108	1,015.7			
T		299,882.0	215				

中煉瓦疵に関しても同様な分散分析を行つたがこゝにはその分析表は省略する)

大, 中, 小煉瓦疵に関する分散分析表より得た結論をまとめてみると,

イ) トロに関して

珪石トロが最良で, 耐火トロは最悪である。黒鉛を混入すれば耐火トロも次第によくなる。又トロの種類が小及び中の煉瓦疵に影響して大煉瓦疵に無関係なのは小及び中の煉瓦疵はトロが剝離してその為が生じたものであるとする考え方を裏付けする。耐火トロの粘着力は小さいのでそのまま剝離して巻き込まれ小煉瓦疵となり易いものと考えられる。

ロ) 定盤に関して

小, 中煉瓦疵が第 1, 2, 3, 4 定盤の順に発生して居る。これは鋼の温度, 取鍋のヘッドによる圧力及び注入速度の関係によるものである。

尙大煉瓦疵が定盤に無関係であることは大煉瓦疵が偶発的に落下した煉瓦片によるものであるという考えから説明出来る。

ハ) 鋼塊内の位置に関して

大, 中, 小を問わず底部が最悪で中央部が最良である。このことは煉瓦片, トロは浮き上つて了るか底に止まるかの何れかで真中に止まることが少いことを示している。実際大煉瓦片が鑄型内に落ちている時, 鑄型が小さい場合直ちに周囲に地金がついて底部に止まるが, 大

型の鑄型或いは温度の高い場合には完全に浮上するものである。

ニ) 取鍋使用回数に関して

小煉瓦疵に大きな関係を有しているが, このことは小煉瓦疵は目地トロばかりでなく取鍋に使用したトロによつても生ずることを示しているのであり, 初期が最悪で中期に最良であり後期に至ると多少悪くなる。

B. 管理方法

以上の結論に基いて煉瓦疵防止対策を立てることが出来る。即ち

イ) 大煉瓦疵

- i) ケース内の清掃を良くする。
- ii) 煉瓦片の落下を防ぐ。

即ち煉瓦疵発生原因中 11, 12, 13 に対する対策で殆ど完全に防止し得るものと思われる。

ロ) 中煉瓦疵

大, 中, 小煉瓦疵の防止が行われれば自然消滅する。

ハ) 小煉瓦疵

- i) 珪石トロを使用する。
- ii) 煉瓦疵発生原因中 3, 5, 6, 9, 14 に注意する。
- iii) 注入速度を出来る限り遅くする。
- iv) 取鍋は煉瓦巻替直後のものを避ける。

かくじて煉瓦疵に関する有効且つ実行可能な対策を立て得たわけであるが, その後この対策に従つて煉瓦疵は 1/3 に減少している。

(2) ヘゲ疵の管理

A. ヘゲ疵に関する記録調査及び実験

過去の記録を調査して種々の検定を行つた結果次の結論を得た。

イ) 鋼湯を鑄型に注入する場合の注入温度、注入速度は此の資料の範囲においてはヘゲに対して影響を与えていない。

ロ) 鋼の酸素含有量もヘゲに対して無関係である(然しこれは従来の考えと異つた結果である。恐らく資料の酸素含有量が小範囲にしか亘つていないからであろう)

ハ) 注入管の周囲 6 本の鋼塊に最も発生し易く外側の鋼塊群には殆ど発生しない。このことは本数の多い小型鋼塊のヘゲ発生率が小である事とよく一致して居る。

以上の調査から防止対策として次の四法を考案して実験を行つた。

(a) 木板入れ

注入管周囲 6 本の鑄型内に杉の板を入れて鋼湯の流れを抑える。

(b) パイプ入れ

注入管の周り 6 本の鑄型中の湯道煉瓦の出口の上に薄板のパイプを置く。

(c) 上り孔の径 2 1/2"

注入管の周囲 6 本の湯道煉瓦の上り孔は普通 1 1/2" であるが、これを 2 1/2" の孔とする。

(d) 上り孔の径 1"

(c) に述べた上り孔の径を 1" の小孔とする。

上の実験の結果を分析して見ると

(a) に関しては第 6 表に示すように普通法に優ることは明かである。内側鋼塊のみについて検定した結果、第 7 表に示すように木板入れの方がかに優れて居る。

(b) に関しては両者間に明かに差は認められないが、パイプの太さ、高さ等を更に研究すれば良い成績を得ることが出来るのではないかと考えられる。

(c), (d) に関しては上り孔の径を大にしても小にしてもヘゲに対しては良い影響を及ぼさないと結果を得たが、これは孔の手製による加工仕上がが悪かつたことも原因と考えられるので更に研究を要する。

B. 管理方法

上述の実験の後、経済的で且つ実行可能な防止対策として注入管の周囲 6 本の鑄型内に木板を入れることを採り上げた。

事実この対策を実施して以来次の如き好結果を得ている(第 8 図参照)

第 6 表 ヘゲ発生率 (内外)

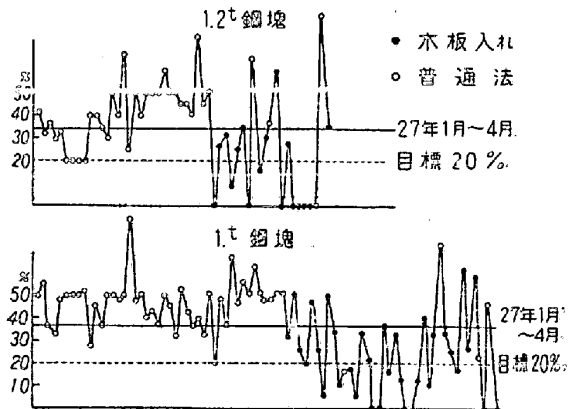
項目	木板入れ	普通法	計
良(本)	158	140	298
ヘゲ(本)	19	84	103
計	177	224	401
ヘゲ %	10.7	37.5	25.7

$\chi_0^2 = 35.72$

第 7 表 ヘゲ発生率 (内側のみ)

項目	木板入れ	普通法	計
良(本)	67	26	93
ヘゲ(本)	16	76	92
計	83	102	185
ヘゲ %	19.3	74.5	48.6

$\chi_0^2 = 53.64$



第 8 図 ヘゲ発生率

V. 結 論

以上原料段取から鋼塊製造に至るまでの一貫した経路の一例について管理の現状を述べたのであるが、実験の回数、データの取方等に尚検討を要する事項が多く統計的手法の援用に関しても種々問題があると思われる。之等に関して今後研究を重ね成果を挙げたいと思つて居る。御批判、御指導をお願いする次第である。

(昭和 28 年 1 月寄稿)