

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol. (1969) No.3

R-H 環流式真空脱ガス処理による調質鋼の品質向上, ならびに環流管用耐火物の開発
Development for Quality of Quenched and Tempered High Strength Steel by R-H
Circulation Flow Degassing Process and Improvement of Refractories for Snorkels

太田 豊彦(Toyohiko Ota) 飯田 義治(Yoshiharu Iida)

要旨 :

千葉製鉄所に 1966 年設置された R-H 環流式脱ガス装置は, 稼働後 2 年半の間に約 50 万 t の溶鋼を処理した。この間完全脱酸キルド処理による調質鋼の超音波探傷の成績は, 非常な向上を示し, その欠陥は従来の 10 分の 1 に減じた。さらに言及すれば本脱ガス処理によって, 40mm, 時には 150~200mm 以上の厚鋼板さえも経済的に製造することが可能になった。このような成功の基礎となる考え方は, (1) 脱ガスは可能な限り溶鋼が完全混合するよう操業されるべきであり (2) 本装置は酸化物系介在物の分離, 浮上を促進するものであるということである。一方, 本質的に脱ガス槽の耐火物は脱ガス操業コストに大きな影響を与える。したがって, 耐火物の研究は非常に重要であるが, まず環流管寿命をマグネシヤールミナ (スピネル) 系キャストブルによって, 50~60 回に延長できたことは大きな成果であった。

Synopsis :

The R-H circulation flow degassing equipment, installed at the open hearth shop of Chiba Works in 1966, has treated about 700,000 tons of steel for the last two and a half years of operation. The supersonic test shows that the defects found in the degassed steel treated at the fully killed condition were as few as only one-tenth of those found in the traditionally quenched and tempered high-strength open-hearth steel. Moreover, the degassing process renders it possible to economically produce heavy plates of over 40mm thickness, and even those of 150~200mm thickness. The success was largely based on the following ideas: (1) The degassing process should be operated in such a way that the entire molten steel gets perfectly mixed. (2) This process accelerates the floating up and separation of oxide impurities. While it remains as challenging a theme as ever to study refractories themselves more deeply since the refractories of the degassing vessel have an essential influence over the cost of degassing operations, it may still be called a considerable success to have been able to prolong the life of the legs of vessel up to 50~60 treating times by relining the legs with magnesia-alumina-spinel castable.

本文は次のページから閲覧できます。

R-H 環流式真空脱ガス処理による調質鋼の 品質向上, ならびに環流管用耐火物の開発

Development for Quality of Quenched and Tempered High Strength Steel by R-H
Circulation Flow Degassing Process and Improvement of Refractories for Snorkels

太 田 豊 彦*

Toyohiko Ota

飯 田 義 治**

Yoshiharu Iida

Synopsis :

The R-H circulation flow degassing equipment, installed at the open hearth shop of Chiba Works in 1966, has treated about 700,000 tons of steel for the last two and a half years of operation.

The supersonic test shows that the defects found in the degassed steel treated at the fully killed condition were as few as only one-tenth of those found in the traditionally quenched and tempered high-strength open-hearth steel.

Moreover, the degassing process renders it possible to economically produce heavy plates of over 40mm thickness, and even those of 150~200mm thickness.

The success was largely based on the following ideas:

- (1) The degassing process should be operated in such a way that the entire molten steel gets perfectly mixed.
- (2) This process accelerates the floating up and separation of oxide impurities.

While it remains as challenging a theme as ever to study refractories themselves more deeply since the refractories of the degassing vessel have an essential influence over the cost of degassing operations, it may still be called a considerable success to have been able to prolong the life of the legs of vessel up to 50~60 treating times by relining the legs with magnesia-alumina-spinel castable.

1. 結 言

普通鋼の多量生産を主体としてきた平炉, 転炉においても高級鋼の溶製が増大し, 鋼塊の大型化とともに, しだいに品質に対する要求が高度となってきた。これらのすう勢に応じて品質ならびに歩どまり向上, さらに新分野の開拓を図るためには平炉, 転炉鋼の本質的な欠陥である酸素, 水素

の高い点を何等かの形で解決する必要がある。これらの問題を解決し, しかも多量生産を行なうためには脱ガス処理以外にないと考えられる。とくに調質鋼, 厚板用, およびボイラー用キルド鋼においては, 非金属介在物に起因する各種欠陥, ラミネーションなどの防止は, 大型真空ポンプの発達, 実用化による真空脱ガス法に活路が見出されたといつてよい。

かかる見地から千葉製鉄所第1製鋼課に導入さ

* 千葉製鉄所製鋼部部長

** 千葉製鉄所製鋼部第1製鋼課課長

れた R-H 環流式真空脱ガス装置は、昭和41年9月操業を開始して以来2カ年半を経過し、処理量も70万トン以上に達している。

平炉で溶製される調質高抗張力鋼は、焼入れ、焼戻し特性上数種の特種合金元素を添加するため鋼塊原価も高く、使用条件はきわめて厳しく、その品質は厚板材中最もすぐれたものが要求されている。すなわちC当量からの制限により各種元素の許容範囲も狭く、シャルピー特性向上のため[P]、[S]の低減や適正[Al]の確保はもちろんのこと、超音波探傷、鋼板表面疵についても厳しい管理下にある。さらに製品は熱処理工程完了後超音波探傷が行なわれ内部欠陥の有無により合否が決定されるので、このようなスーパー不合格による損失はきわめて大きいものとなる。当社においても調質鋼のスーパー成績向上対策には、これまで数多くの実験、解析が行なわれ効果をあげてきたが、本処理設備稼動後、(1)環流による溶鋼の攪拌特性に着目し完全脱酸処理による脱酸生成物の浮上分離の促進 (2)処理終了温度の上昇 (3)環流管径増大による環流比の上昇 (4)脱ガス槽内 Al 添加時期の変更などにより、スーパー不合格を処理設備稼動前の $\frac{1}{10}$ 以下とすることが可能となった。

2. R-H 環流式真空脱ガス法の概要

千葉製鉄所に設置された脱ガス装置は旧 Ruhl-stahl 社と Heraeus 社の共同研究により開発された真空脱ガス法で R-H 法と呼ばれ、Fig.1 に示すごとく真空槽内に溶鋼を環流させることにある。真空槽下部に上昇管と下降管の2本の管を取付け取鍋内溶鋼中に浸漬して真空槽を排気する。上昇管に作動ガスとして Ar または N_2 を導入すると、溶鋼はこの管を通じて吸上げられ真空槽内にはいり脱ガスされて下降管を通り取鍋内に戻り、溶鋼は自動的に循環し連続的に脱ガスされる。

この方法は真空槽の容器が小さいため短時間に所定の操作圧に達することを特徴とする。真空処理の初期段階すなわち CO 反応が活発に行なわれる排ガスの最も多い低真空領域において、急激に真空度を高くすることは困難であるが、低真空側に大排気量ポンプを採用することによって解決し

得る。しかもこれは脱ガス中の熱損失を最小に抑えるためにも有効である。このため当社では本邦で初めて、200 t で空気換算 1200 kg/h の大排気能力を有するウォーターリング・ポンプを採用した。これは当社 R-H 装置の特色であり、たとえば完全脱酸キルド鋼においては 760 mmHg から 0.2 mmHg までわずか 3.0~3.5 min で達する。

Ar または N_2 を導入すると溶鋼は激しく運動しスプラッシュを伴って環流し始めるが、導入ガス量は 60~65 l/t で十分である。今、導入ガスとして Ar を用いるとすると、Ar は溶鋼によって加熱され溶鋼の温度近くなるとその体積は約 100 倍に膨脹するが、上昇管上部では溶鋼中より放出されるガス量が加算されるのでそれ以上の体積になる。このような状態になった時溶鋼の流速は $\sqrt{2g\Delta h}$ (Δh : 大気圧平衡高さ以上に堰止められた部分の高さ) で与えられ、下降管から排出される溶鋼の線速度は約 1.6 m/sec に達し取鍋内の攪拌に寄与している。

通常の操業条件すなわち完全脱酸キルド鋼の脱ガス処理における環流速度(真空槽内を通過する溶鋼の速度)は 30~40 t/min であり、環流速度は上昇管径および導入ガスにより変化する。

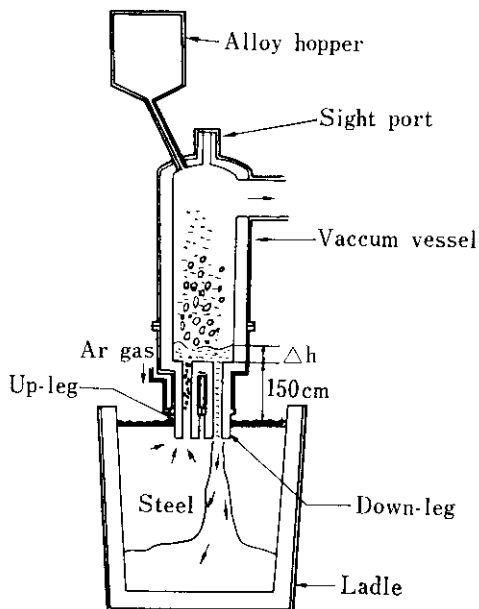


Fig. 1 Principle of R-H circulating flow vacuum degassing process

今上昇管径 300mmφ, 導入ガス量 250 l/min で 40t/minの環流量が得られ, 溶鋼量160 t の処理時間を30minとすると, $40t \times 30min / 160t = 7.5$ すなわち取鍋内の溶鋼は, 単位処理時間内に 7.5 回入れ替ったことになり, これを環流比 (recirculation ratio) と呼んでいる。可能な限り環流比を大きく取りたいことは当然であるが, この場合溶鋼の温度降下がしばしば問題になる。溶鋼の温度降下は完全脱酸処理, 半脱酸処理および未脱酸処理により大に異なるが, 温度降下を最小限にするためには真空槽の予熱を強化しなければならない。

3. R-H 環流式真空脱ガス装置

3.1 設備概要 (Fig. 2 参照)

- | |
|-----------------------|
| 1 Vacuum vessel |
| 2 #1 Ejector |
| 3 #2 " |
| 4 #3 " |
| 5 #3 Condenser |
| 6 #4 Ejector |
| 7 #4 Condenser |
| 8 Vacuum pump |
| 9 Water separator |
| 10 Exhaust pump |
| 11 170T Ladle |
| 12 Control room |
| 13 Electrical room |
| 14 Oil hydraulic room |
| 15 Water header |
| 16 Alloy hopper |

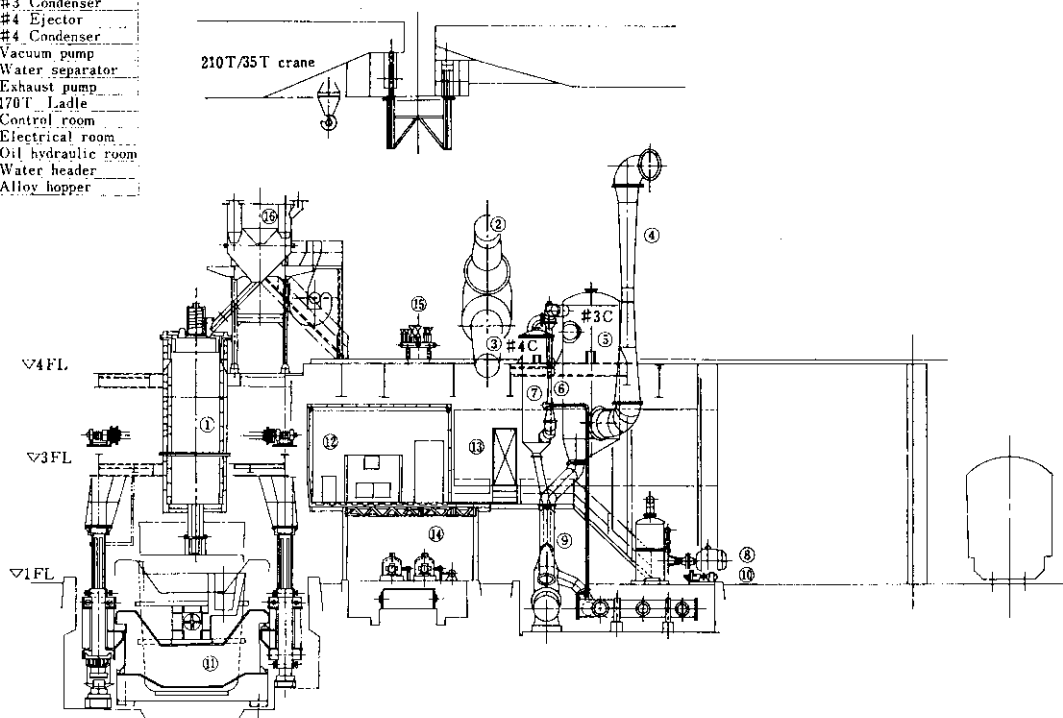


Fig. 2 Layout of vacuum system

本設備は平炉工場北端 No. 6 平炉と 1,200 t 混鉄炉の中間に設置され, 平炉ヤード側に排気系統, 造塊ヤード側に真空槽を設置しその中間に制御室を置いている。

取鍋は自走式取鍋台車により真空槽直下に運ばれ, 油圧昇降装置によって押し上げて真空処理を行なう。

3.2 真空設備

真空設備は西独 Standard Messo 社の設計によるものであり, 排気系の主要仕様を Table 1 に示す。

コンデンサーを既設の建屋内に置いたため抽水ポンプを用いて冷却水を排出している。スチームエジェクターの配置は真空槽との接続配管を出来

Table 1 The specification of the pumping system

Pump system	1-stage starting ejector, 1 set of watering pump and 4 stage steam ejector
Capacity	400kg/h (Weight of air at working pressure)
Working pressure	0.5mmHg
Ultimate pressure	0.2mmHg
Steam consumption	14.6t/h
Cooling sea water consumption	1,650m ³ /h (max 30°C)

Table 2 Pump down time and pressure

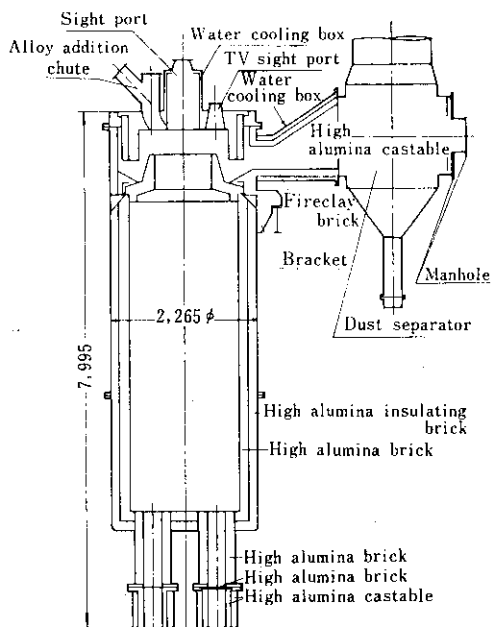
Time(min)	Pressure (mmHg)	Pressure stage
0	760	W. R. P. & stage
2	200	W. R. P. starter & 4 on
2.0~2.5	80	W. R. P. 4 & 3 on starter off
2.5~3.0	30	W. R. P. 4.3 & 2 on
3.0~3.5	2	W. R. P. 4.3.2 & 1 on
25 ~ 30	End(0.18~0.5)	W. R. P. 4.3.2.1

るだけ短かくし、また蒸気のドレンがエジェクター内に残留しないように考慮した。脱ガス処理開始後約 3~4 min で真空度は 1 mmHg 以下になる。(Table 2 参照)

到達真空度は完全脱酸で 0.2 mmHg 以下を示している。

3.3 真空槽

真空槽はリムド鋼の脱ガス処理に支障のないよう十分大きくした。周知のごとくりムド鋼の処理においては、激しいスプラッシュで真空槽全周に地金が付着し歩どまりを低下させるばかりでなく、その後の処理を困難にする。当社では本邦で初めて真空槽本体上部および上蓋に、スプラッシュ防止の耐火物構造（アーチおよび凸部）を設置した（Fig. 3 参照）。

**Fig. 3** Vacuum vessel

3.4 取鍋昇降装置

取鍋台車で真空槽直下に運ばれた取鍋は、取鍋受枠に受けられたままチェーン式同期装置を備え

Table 3 Specification of ladle lifting unit

Total weight	274 t (the ladle and the steel, 220 t; ladle supporter, guide frame and cylinders, 54 t)
Ascending speed of ladle	2.6m/min
Descending speed of ladle	
travelling speed	2.6m/min (at 274 tons)
grounding speed	1.0m/min (at 274 tons)
no load	0.8m/min (at 54 tons)
Lift stroke	1,830mm
Cylinder oil	non-flammable oil 3000 l(Cellulube 220)
Main oil pressure pump	4×170 l/min, 130kg/cm ² G
motor	2×110kW, 6 poles, with pumps on both sides
Pilot pump	1×11.7 l/min, 70kg/cm ² G
motor	1×2.2kW, 6 poles
Oil pressure cylinder	2×400mmφ (outer diameter)
Rod diameter of alignment device	220mmφ
Breaking strength of chain for alignment device	3×64=192tons (for each set) (number of chain set is 4)

た単動式の2本の油圧シリンダーによって、脱ガス処理位置まで押し上げられる。2本の油圧シリンダーは同調されており、上下する時の取鍋上面の傾きは10mm以下である。片側のシリンダーが破損した場合でも取鍋の傾斜は100mm以下に保持される。取鍋昇降装置のおもな仕様は Table 3 のごとくである。

3.5 合金鉄投入装置 (Fig. 4 参照)

Fe-Si, Si-Mn, Fe-Mn などあらかじめ秤量して7室(1.5m³×1, 0.6m³×3, 0.2m³×3)に仕切られた円形ホッパーに容れ、エアシリンダーによって投入口を開閉して真空槽上蓋ヘシュートによって導かれる。

カーボンおよびアルミニウムは、それぞれ0.2m³の内容積を有するホッパーからロータリーフィーダーにより切り出し、前記の7室合金槽のシュートに合流し真空槽に添加される。

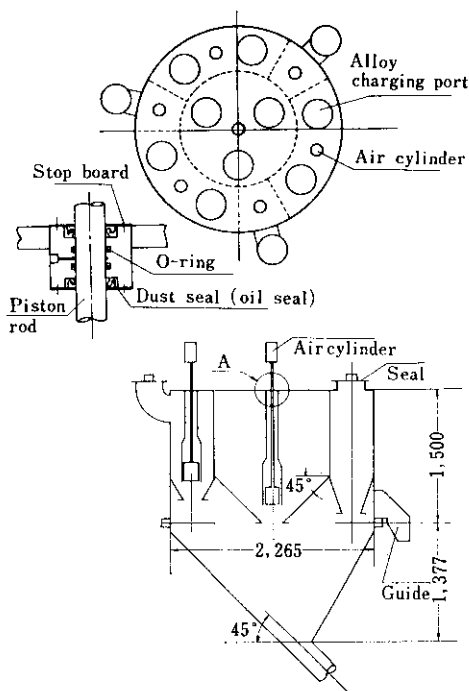


Fig. 4 Alloy addition hoppers

3.6 予熱装置

真空槽の内面温度を1,100~1,200°Cに5時間

以内に上昇させるために、Cガス(4,700kcal/Nm³ 力1,800mmAq)を燃料とする300Nm³/hのバーナー2本よりなる予熱装置を、電動自走式の補修台車上に置いて浸漬管の下から予熱している。

4. 調質鋼のスーパー成績向上対策

4.1 環流管径についての検討

本脱ガス法の特徴は溶鋼を2本の環流管によって環流させるものであるから、溶鋼の環流に大きな影響を与える因子としてAr流量および環流管径が挙げられる。Ar流量はこれを大きくすると真空槽内のスプラッシュを大にし、槽内に溶鋼が付着成長し歩どまりを悪くするのみならず、その後の処理の溶鋼成分に支障をきたすことになる。

通常操業における環流管径280mmφにおいて、放射性同位元素Au¹⁹⁸によるトレーサー試験の結果、Ar量の変化による環流量に関し Fig. 5 に示すような結果が得られた。

このトレーサー試験結果からAr流量(Q: l/min), 環流管径(R: mm)および環流量(W: t/min)について(1)式が得られた

$$Q = k \cdot R^3 \cdot W^3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

k: 定数

同様な関係を松井, 中山らは, (2)式で与えている¹⁾。

$$W = k D^{1.5} G_0^{0.33} \quad \dots\dots\dots(2)$$

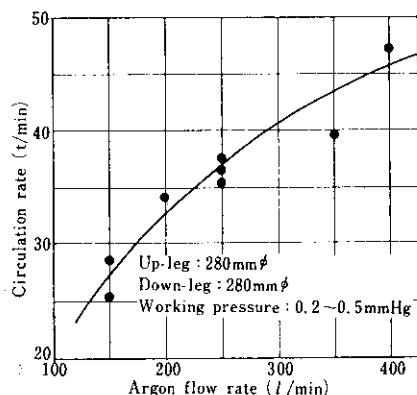


Fig. 5 Relation between amount of lift gas and circulation rate (for 160 t)

Table 4 Relation between snorkel diameter and circulation rate

Snorkel diameter (mm)	Circulation rate (t/min)	
	using equation (1)	using equation (2)
230	26	27
280	36	36
300	40	40
330	47	46

Go : Ar 流量 (l/min)

D : 環流管径 (cm)

W : 環流量 (t/min)

k : 定数

(1)および(2)式における k は R-H 設備により定まる定数で、前記の測定実績から Ar 流量 250 l/min 環流管径 280mm ϕ および環流量を 36t/min を用い当社設備について k を定め、環流管径を変えたときの環流量を求めると **Table 4** のごとく両式はほぼ一致した環流量となる。

したがって単位時間あたりの処理効果をあげるためにはできるだけ環流比をあげることが望ましく、そのためには環流管径を大きくして操業しなければならない。

Table 5 は調質高抗張力鋼について、超音波探傷によってチェックされた欠陥を評点化したスーパー評点を環流管径別に比較したもので、この結果から環流管径が大きくなるにつれてスーパー成績が向上することがわかる。このように R-H 処理によってスーパー成績が向上するのは、環流管径が大きくなるにつれて環流量が増加するため、溶鋼の攪拌効果が著しくなり、非金属介在物の浮

Table 5 Result of supersonic tests for heats treated with 230, 280 and 300mm diameter snorkel

Snorkel (mm)	Ingot weight (t)	Frequency of defects found by supersonic test	
		plate thickness (≤ 20 mm)	plate thickness (20~50mm)
230	<13	1.96	3.60
	>18	3.70	3.02
280	<13	1.00	1.94
	>18	1.00	1.66
300	<13	1.00	2.04
	>18	1.00	1.60

上分離が促進されることが主要因であることがわかった。

4.2 添加 Al のスーパー成績におよぼす影響

調質高抗張力鋼は当然衝撃特性の保証が必要であり、その特性を確保するためには、細粒鋼として Sol. Al が 0.020% 以上を確保する必要がある。このため溶鋼への Al の添加量を増加させねばならないが、**Table 6** に示すように Sol. Al が高いほどスーパー評点は悪くなる。

一方平炉は、その溶製法および出鋼法の特徴から極めて Al の歩どまりが変動し易く、Sol. Al 0.020% 以上確保し、かつバラツキを小さくするための調整法に苦心せざるを得ない。

一般に Al の添加が鋼塊注入時に近くなればなるほど、Al 添加による脱酸生成物は浮上分離し難くなる。**Table 7** は同様な鋼種について、R-H 処理中に真空槽内で Al 添加を行なった場合の

Table 6 Relation between supersonic test and ladle Al (sol) %

Ladle Al (sol) $\times 10^{-3}(\%)$	Ingot weight (t)	Frequency of defects found by supersonic test	
		plate thickness (≤ 20 mm)	plate thickness (20~50mm)
<20	<13	1.00	1.24
	>18	1.00	3.56
≥ 20	<13	1.56	3.88
	>18	3.06	3.34

Table 7 Effect on the result of supersonic test by Al addition in R-H chamber

Al	Ingot weight (t)	Frequency of defects found by supersonic test	
		plate thickness (≤ 20 mm)	plate thickness (20~50mm)
No add.	<13	1.00	1.86
	>18	1.00	3.06
Add.	<13	1.42	4.54
	>18	3.38	3.68

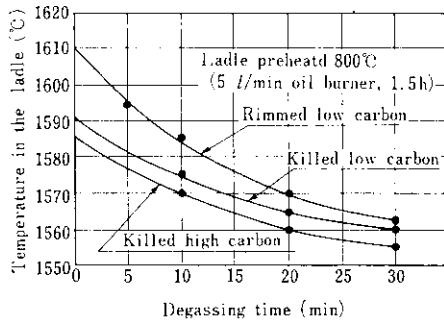


Fig. 6 Temperature drop during degassing

スーパー成績への影響を比較したものであるが、この結果からも Al 添加によりスーパー評点が悪くなることがわかる。したがって Sol. Al の調整上真空槽内の Al 添加を必要とする場合は、脱ガス初期に添加し十分攪拌することが望ましい。

4.3 脱ガス処理終了温度とスーパー成績

以上のような処理方法の改善により、非脱ガス材と比較すればかなりのスーパー成績の向上もたらされたが、いまだ鋼塊のボトム部に発生する欠陥の減少は十分とは言えず、特に板厚の厚いもののボトム部は不合格発生が高い。これは凝固過程における沈澱品による介在物のトラップが、最も大きな原因と考えられる。この対策としては、処理終了温度を高め高温で注入し、铸型内での介在物の浮上性を高めることが考えられる。通常操業における脱ガス処理の処理開始後の鋼種別温度

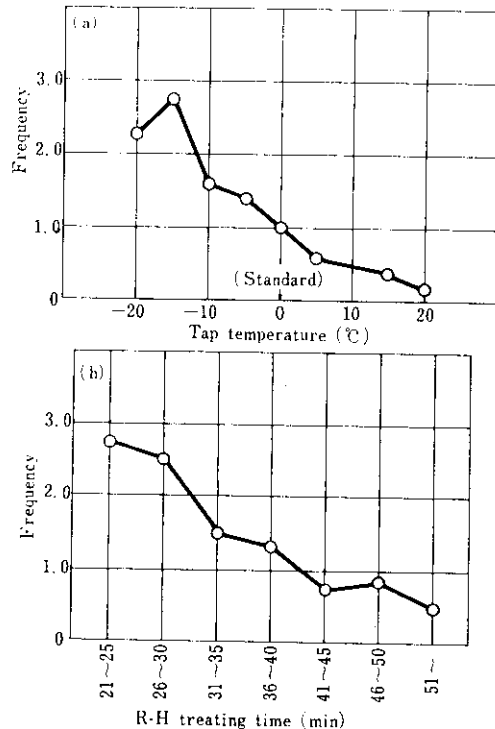


Fig. 7 Effect of tap temperature and R-H treating time on the frequency of defects found by supersonic test

降下を示せば Fig. 6 のごとくなる。

Fig. 7 は脱ガス処理時間および出鋼温度別スーパー評点を示したもので、これによると出鋼温度すなわち R-H 処理終了温度の上昇が、スーパー成績向上に効果を挙げていることがわかる。処理時間がスーパー成績向上に有効に出ていることは、前述したように溶鋼の攪拌効果によるものである。

注入温度とスラブ表面割れとに密接な関係があることは周知のとおりで、際限なく処理終了温度をあげ高温注入を行なうことは出来ない。したがって出鋼温度および処理終了温度は従来の基準より $+10^{\circ}\text{C}$ とし工程化を進めた。同時に多量の上注法、下注法の比較を行なったが、上注法で十分であるという結果を得た。

以上の結果からボトム・スラブの使用を含めた調質高抗張力鋼の操業基準が決められたが、この間におけるスーパー評点の推移を Fig. 8 に示す。

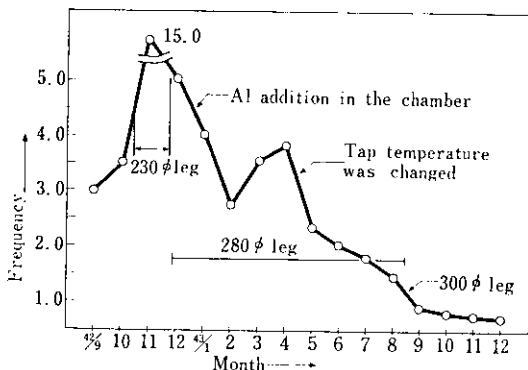


Fig. 8 Changes of frequency of defects found by supersonic test

5. 環流管用耐火物について

5.1 真空下部槽の寿命について

真空脱ガスにおける耐火物の改良開発については、操業の安定、品質向上ならびに経済性の面から各社とも最も力を入れている。すなわち R-H 環流式真空脱ガス法における耐火物コストは、全処理費の約 $\frac{1}{2}$ に相当し、耐火物寿命の延長はそのまま処理費の低減につながる。一方今後のすう勢

として必要かつ十分な処理効果をあげるためには高温処理、処理時間の延長などますます苛酷な使用方向にあり、耐火物の改良開発が今後の脱ガス処理に課せられた重要な問題である。

当社では従来高 Al_2O_3 質耐火物を主体に使用してきたが、十分な寿命を得るには至らなかった。とくに真空槽の寿命は、下部槽寿命とりわけ環流管寿命に支配されるところから、環流管用耐火物の開発が急務となった。

下部槽の側壁に高 Al_2O_3 質モルタルを使用した場合には、溶鋼の上下運動による縦目地の溶損が著しく、縦目地部よりの洩鋼事故が数回発生し、鉄皮赤熱事故が続発したが、高級塩基性モルタルを採用することにより解決した。現在下部槽は1代使用後環流管部のみを取替え、側壁は100~150ヒートの使用に耐えるに至った。

一方環流管および浸漬管の寿命延長対策として、局部的浸蝕を防止し均一に溶損させるため、技術標準として25回の使用サイクルで上昇管、下降管の振替を行ない、上昇管内径 300mm が 400mm 位に拡大したところで環流管の寿命としている。このような改善のほか、環流管部の煉瓦積様式についても操業当初から漸次変更を加えてきたが、Fig. 9 に見られるごとく下部槽寿命の飛躍

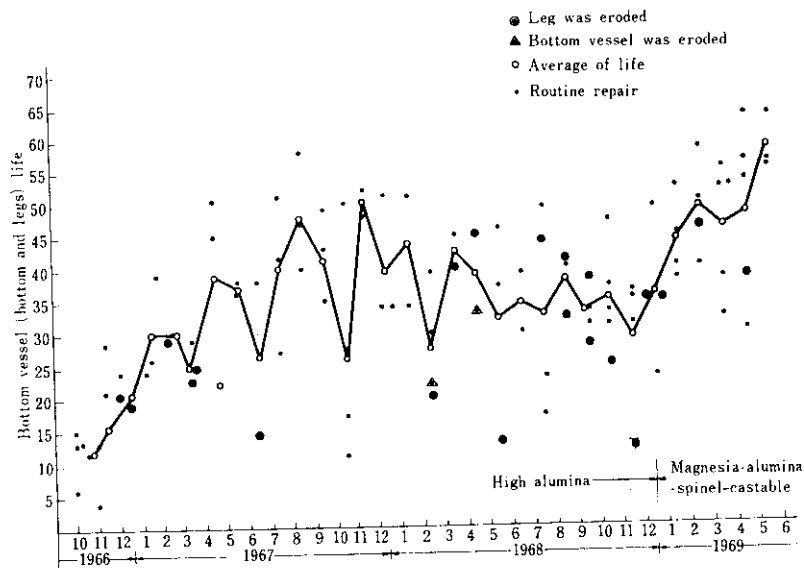


Fig. 9 Result of bottom vessel life

的な向上を期待することができなかった。

5.2 不定形耐火物による環流管用煉瓦の開発

高 Al_2O_3 質焼成環流管煉瓦の43年1月以降の平均寿命は35回であり、Fig. 9 に示すごとくきわめてバラツキが大きい。このことは煉瓦が大型のためプレス成形ができず、手打ち成形のため粒子の偏析、品質のバラツキが大きいことに起因すると考えられる。一方寿命延長対策として試用した $MgO-Al_2O_3$ 電铸煉瓦も、煉瓦内のブローホールやキャビティーなどのため寿命がバラツキ、その目的を達することができなかった。さらにいずれの場合も煉瓦間の目地部が操業中に浸蝕され、煉瓦自体の厚みがあっても目地部の溶損により溶鋼が流出し操業不能に至ることが多く、基本的な解決が必要であった。これらの欠点を解消するため各種の不定形耐火物を使用して、環流管をキャストابلで铸込むことにより、目地なしの一体物で耐蝕性のすぐれた環流管煉瓦を試作した。これらの試作研究の結果、マгнеシヤ-アルミナ-スピネル系のキャストابلによる環流管煉瓦が開発され、すでに実用化され Fig. 9 に示すように、下部槽の寿命は向上し耐火物コストの低減に多大の効果をあげている。

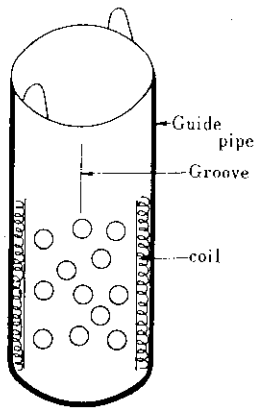


Fig. 10 Guide pipe of snorkel

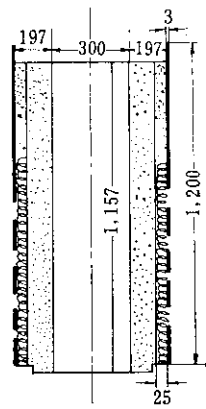


Fig. 11 Castable snorkel

Table 8 Chemical composition of
magnesia-alumina-spinel castable (%)

Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
60~75	20~30	3~6	1	3	1

5.3 不定形耐火物による環流管の施行および特徴

本環流管煉瓦の施行方法の概要は以下に示すとおりである。Fig. 10 はパイプ内面にコイルを溶接し、乾燥時のガス抜き穴をあけ、中子をパイプの中に挿入しキャストを鑄込む環流管の外枠用パイプである。

Fig. 11 は環流管外枠用パイプにキャストを鑄込んだ環流管であり、鑄込後48時間の自然乾燥、24時間のCガス乾燥を行なう。

Fig. 11 に示した環流管を乾燥後下部槽に取付ける。取付後 Fig. 10 に示した外枠切断溝（グループ）より切断し敷煉瓦を積む。Fig. 12 は下部槽に取付けたキャスト環流管である。環流管鉄皮と外枠との間隙にはキャストの粉で充填する。この環流管に使用した不定形耐火物の化学組成を Table 8 に示す。

本環流管煉瓦の使用結果として、使用回数50回後の残厚を Fig. 13 に示す。

これまでの使用結果から本環流管煉瓦は、次の

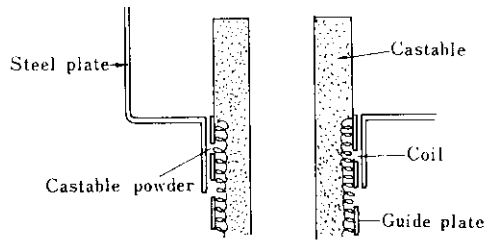


Fig. 12 Snorkel set at bottom vessel

ような特徴を有することが確認されている。

(1) マグネシヤ-アルミナスピネル系のキャストであるため、耐蝕性にすぐれ、Fig. 13 に示すごとく局部的浸蝕がなく均一な溶損を示す。

(2) 操業中目地部の補修を必要とせず作業性がよい。

(3) コストは高 Al₂O₃ 質焼成環流管煉瓦の約1/2である。

なお本環流管の施行方法および使用不定形耐火物の化学組成、粒度配合に関しては現在特許出願中（特願昭43-74457：管状耐火物およびその製造方法）である。

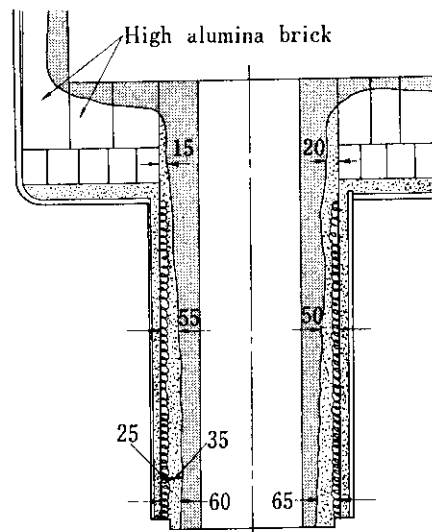


Fig. 13 Used refractories thickness

6. 結 言

真空脱ガス装置導入以前は、ボトム・スラブの充当を取止めてもなお調質高抗張力鋼のスーパー不合格が発生していたが、真空脱ガス工程での完全脱酸処理を行なうことにより、ボトム・スラブも含めたスーパー不合格は従来の $\frac{1}{10}$ 以下に低下した。すなわち

- (1) 真空槽内 Al 添加方法の改善
- (2) 脱ガス処理終了温度の上昇
- (3) 環流管 300 mm ϕ の採用

により R-H 脱ガス法の環流による溶鋼の攪拌特性を十分に活用し、脱酸生成物の浮上分離を促進せしめたことにある。さらに処理終了温度の上昇

は、凝固時の沈澱品にトラップされる非金属介在物によって鋼塊ボトム部に発生するスーパー不合格の低減にきわめて有効であった。

また処理コストを左右する耐火物に関しては、とくに環流管部の延命対策として、独自の考案によるマグネシヤ-アルミナ-スピネル系のキャストブルによる環流管用耐火物を開発、実用化し、脱ガス処理の経済性および作業性の向上に著しい効果をあげている。

以上に述べたごとく、本装置導入により製鋼過程での品質管理が容易になり、とくにバラツキの少ない製品が得られることから、今後はとくに、原子炉などの圧力容器用および機械構造用極厚鋼板の製造に対して、R-H 脱ガス法はきわめて有効な手段となるであろう。

参 考 文 献

- 1) Kazumi Matsui, Masatoki Nakayama, Ryoji Arima, Nobuyuki Yamagaki and Koichi Asano : Technical Report of Fuji Steel, 16 (1967) 2, 96