

Fig. 5. Metal flow in ladle.

ためその数倍かかると思われる。粒子は小さいほうが早く溶けるはずであるが、15 mm 立方程度の Si-Mn を使った経験では、出鋼に巻き込まれないと溶鋼表面に浮く傾向が認められた。ちなみに Si-Mn の比重は 6.52 で、キルド鋼の比重 7.2 より小さい。

3. 結 言

取鍋内の溶鋼成分の均一化をはかるため、RI および模型実験によつて調査を行なつた結果、次のことが解つた。

- (1) 取鍋内成分の均一化のためには、溶鋼 75% 出鋼時までに合金鉄の投入を完了することが必要で、それより以降に投入すると最終鋼塊の濃度が高くなる傾向がある。
- (2) 出鋼後 10 min 以上 holding time をとれば、対流等によつて溶鋼成分の均一化に効果があると思われる。
- (3) 合金鉄の投入位置は、溶鋼流によく巻き込まれるように Fig. 4 の×印の位置が適当である。

文 献

- 1) 森, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 442
- 2) David R. BAILEY, et ali.: Iron & Steel Eng., 42 (1965) 5, p. 95

(86) 出鋼脱ガス法について

日本製鋼所, 室蘭製作所

守川平四郎・池見 恒夫  
田辺 潤平・○福本 勝

Tapdegassing Process.

Heishirō MORIKAWA, Tsuneo IKEMI,  
Junpei TANABE and Masaur FUKUMOTO.

1. 結 言

鋼の溶解, 精錬あるいは造塊過程において溶鋼の真空処理を行なうと, 得られる製品の性質が著しく向上することはよく知られている。この真空処理の主たる効果は酸素, 水素, 窒素等のガス成分の除去であるが, これに伴つて酸化物系介在物の減少をはじめ内部性状および材力の向上が期待される。近年, 真空ポンプその他機器類の急速な進歩に伴ない, これらの真空処理が工業的規模で広く行なわれるようになり, 製鋼技術の発展に寄与している。当所においても昭和 34 年に真空造塊設備を設置し, 大型高級鍛造用鋼塊の製造を行なつてきた。す

でに報告したように真空造塊法の採用により大巾な品質改善をはかることができた。昭和 37 年からは, 真空処理による脱酸をさらに有効に行なうとともに, 鑄鋼製品や 1 溶解で数個の鋼塊を製造する場合にも真空処理を行なうべく出鋼脱ガス法を採用した。本報告では当社における出鋼脱ガス法の効果を脱酸, 脱水素および鋼塊内部の清浄度について調べた結果を述べる。

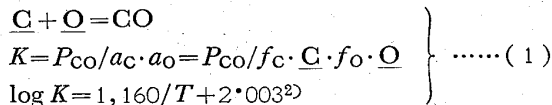
2. 出鋼脱ガス法の概要

装置の概略を Fig. 1 に示す。本法の主たる効果はつぎのとおりである。

- a) 鑄鋼品や 1 溶解で数個の鋼塊を製造する場合にも真空処理を行なうことができる。
  - b) 真空処理を精錬工程に直結することにより時間損失およびこれに伴なう温度降下の防止が可能となる。
  - c) 取鍋中にあらかじめ脱酸剤あるいは合金元素を入れておくことによつて有利に脱酸, 脱水素, 脱窒素を行なうことができる。
  - d) c) の操作による各種合金元素の歩留向上。
- ここで c) 項について若干の説明を加える。

2.1 脱 酸

溶鉄中に単純に溶解している酸素は, 雰囲気中の酸素分圧を  $10^{-6}$  mmHg 程度まで下げても除去することは困難であるが炭素が存在すると,



なる反応を起こし低圧下では C と平衡する O は著しく低下する。しかし, この関係は純粹なる Fe-C-O 系においてのみ成立するものであつて Si, Mn, Al, Cr その他の成分が共存する場合は異なつた様相を呈する。これらの共存元素が溶鋼中で O と結合して酸化物を形成している場合と, 酸化物を形成しないまでも溶鋼中の O および C の活量に対して影響している場合について検討してみる。まず, 前者の場合, 溶鋼の真空処理で酸化物が C

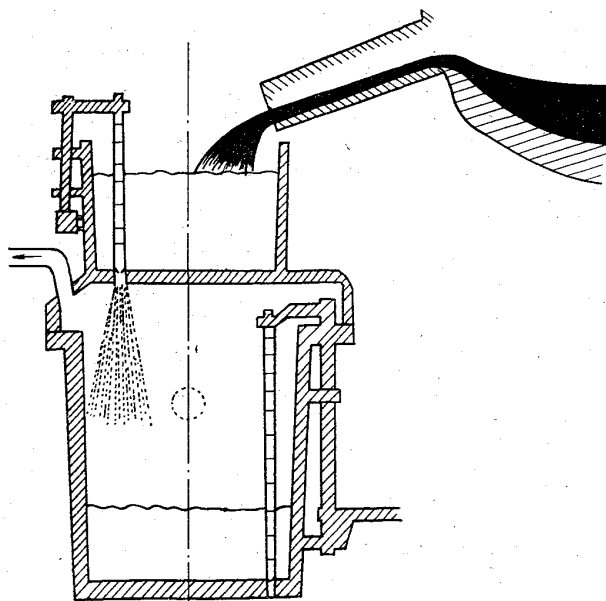


Fig. 1. Artist conception of tapdegassing process.

Table 1. Composition of hypothetical molten steel (%).

Mark	Condition	C	Si	Mn	P, S	Cr	Al
A	Before addition of de-oxidizer(alloy elements)	0.30	tr.	0.20	0.02	tr.	tr.
B	After addition of de-oxidizer(alloy elements)	0.30	0.30	0.70	0.02	1.00	0.05

Table 2. Composition of molten steel before degassing and products (%).

Group		C	Si	Mn	P	S
(1)	Products	0.10/0.14	0.20/0.25	0.60/0.70	<0.03	<0.03
	Before degassing	(a) // (b) //	0.03/0.04 0.20/0.25	// //	// //	// //
(2)	Products	0.30/0.35	0.25/0.30	//	<0.02	<0.02
	Before degassing	(a) // (b) //	0.06/0.08 0.25/0.30	// //	// //	// //

によつて分解される反応の難易を解離圧によつて比較すると脱酸力の大きな元素の酸化物ほどCによつて還元されがたい。したがつて Al や Si その他の安定な酸化物を形成しやすい元素の添加前に真空処理を行なうことが望ましい。また Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> およびその他の酸化物が溶鋼中に存在するときは、高温での真空処理が必要である。つぎに後者の場合、真空処理によつて得られる酸素量に対する共存元素の影響を、Table 1 に示すごとき合金元素添加前後の溶鋼 A, B を仮定して述べる。

ここで平衡時の活量の関係が適用しうるものとして CO 分圧その他の条件が同一のときの溶鋼 A および B の平衡酸素量の比を求めると、つぎのごとくである。(1) 式から、

$$Q = P_{CO} / f_C \cdot f_O \cdot C \cdot K$$

したがつて P<sub>CO</sub> その他の条件が同一のとき溶鋼 A および B の分析値として表わされる平衡酸素量の比を求めるとつぎのごとくである。

$$Q_A / Q_B = f_C^B \cdot f_O^B / f_C^A \cdot f_O^A = 0.75 / 1.00$$

溶鋼 B における平衡酸素量が高いのは酸素の活量が低下しているためであり、このことから脱酸剤や酸素の活量を低下させる合金元素の添加前に真空処理を行なうことが脱酸に有利であることがわかる。

2.2 脱水素

溶鋼中の水素量 (a<sub>H</sub> で表示) と雰囲気中の水素分圧 P<sub>H<sub>2</sub></sub> との平衡関係はつぎの式で示される。

$$a_H = f_H \cdot H = K \sqrt{P_{H_2}} \dots\dots\dots (2)$$

したがつて溶解水素の活量が a<sub>H</sub> の溶鋼の水素放出圧は、

$$P_{H_2} = (f_H \cdot H / K)^2$$

である。いま脱酸の場合と同様に Table 1 に示す成分の溶鋼について脱酸剤添加前後の水素の放出圧を算出比較するとつぎのごとくである。

$$P_{H_2}^A / P_{H_2}^B = (f_H^A / f_H^B)^2 = 1.23 / 1.00$$

すなわち、溶鋼 A の方が放出圧は大であり、真空処理による脱水素効果は合金元素あるいは脱酸剤添加前のほうが大きいといえる。

2.3 脱窒素

溶鋼中の窒素は、従来の真空造塊法では十分除去することができなかつた。これは水素と異なり溶鋼中で単純に溶解しておらず、解離しがたい窒化物を生成するためといわれている。したがつて、Cr, V, Si, Al, Ti, Zr 等の元素が添加される前に、真空処理を行なうことが、脱窒素のためにも有利である。

以上のごとく出鋼脱ガスにおいては合金元素や脱酸剤の添加前に真空処理を行なうことが酸素、水素、窒素のガス成分除去にとつて有効である。とくに脱酸においてその効果は大きいと考えられる。また、これによつて添加合金元素の歩留の向上が期待できる。

3. 調査内容および方法

調査はエルー式電気炉 (80 t) における出鋼脱ガスの脱酸および脱水素に対する効果ならびに本法によつて得られた鋼塊の内部の清浄度について行なつた。なお、鋼塊内部の清浄度に関しては真空造塊法および大気造塊法によつて得られた鋼塊と比較することとした。

3.1 出鋼脱ガス法の効果

前述のごとく出鋼脱ガスの効果は溶鋼成分の影響を受けると考えられるため C 含有量の異なる 2 鋼種についてそれぞれ真空処理前の Si 含有量を変えて、脱酸および脱水素効果の差異を調査した。調査はそれぞれ 3 溶解について行なつた溶鋼成分は Table 2 に示すとおりである。

試料採取の時期および位置は出鋼直前の炉内、鑄込中の鋼流および鑄込終了直後の鑄型内溶鋼である。また、出鋼温度、真空度、処理速度、鑄込速度等はほぼ同一である。

3.2 出鋼脱ガス、真空造塊および大気造塊によつて得られた鋼塊の内部の清浄度

Table 2 の (2) に示す鋼種における出鋼脱ガス法、真空造塊法および大気造塊法の比較を各法によつて製造した鋼塊の酸素、サンドおよび酸化物系介在物について行なつた。出鋼脱ガスおよび真空造塊は 80 t 電気炉で精錬した溶鋼について、大気造塊は酸性平炉にて精錬した溶鋼について実施した。鋼塊はいずれも 75 t で、そ

Table 3. Oxygen, sand and oxide inclusion at the center of each ingot (75 t).

Ingot No.	Ingot making process	O (ppm)	Sand (ppm)					Oxide inclusion (%) (by point counting)
			total	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1	Tap degassing and open cast	23	29	22	1	2	4	0.024
2	Vacuum cast	25	35	24	3	2	6	0.029
3	Open cast	37	52	38	1	1	2	0.041

それぞれの底部より約 1.4m の中心部から 試料を採取した。なお、サンド分析は温硝酸法で行ない、酸化物系介在物の測定は学振第 3 法にしたがつて行なつた。

4. 調査結果

4.1 出鋼脱ガスの効果

4.1.1 脱酸効果

Table 2 に示した各溶鋼の真空処理前後における酸素量の変化を Fig. 2 に示す。各溶鋼とも 鑄込までに酸素量は激減しており、出鋼脱ガスの効果は十分に認められる。また両鋼種とも真空処理前の Si 含有量の少ないほうが脱酸効果はやや大きい。これらの結果は A. Tix らの得た結果とかなりよく一致する。

4.1.2 脱水素効果

脱酸効果の場合と同様に各溶鋼の水素含有量の変化を Fig. 3 に示す。鑄型内溶鋼の水素含有量が鑄込中の鋼流より高いのは大気中で鑄込まれたためである。しかしいずれの場合も 2 ppm 以下であり、出鋼脱ガスの脱水素効果を損うまでにはいたらない。また、一般に真空処理前の Si 量が少ないほうが脱水素効果はやや大きい。

4.2 出鋼脱ガス、真空造塊および大気造塊によつて得られた鋼塊の内部の清浄度

各法によつて得た鋼塊の底部より約 1.4m の中心部における酸素およびサンド分析値ならびに酸化物系介在物の面積率を Table 3 に示す。

酸素、サンド、酸化物系介在物いずれも真空処理を行

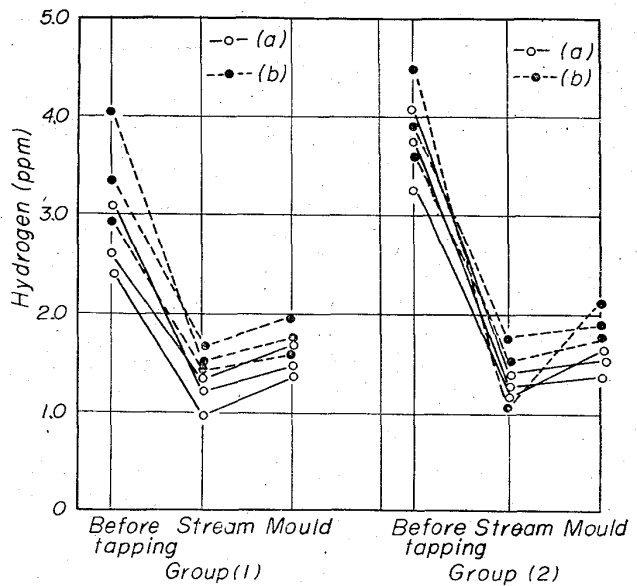


Fig. 3. Variation of hydrogen content.

なつた No. 1 および No. 2 鋼塊が大気造塊による No. 3 鋼塊に比較して低値を示している。また、酸化物系介在物は大気造塊法による鋼塊では若干大型のものが存在したが、真空処理を行なつた鋼塊では一般に小さなものであつた。

この結果からも真空処理によつて鋼塊内部の清浄度も改善されることが明らかである。しかし出鋼脱ガス法と真空造塊法の比較は Table 3 の結果だけではできない。

5. 考察

Fig. 2 によると真空処理による溶鋼の脱酸におよぼす Si の影響はあまり大きいとはいえないが、これは溶鋼中の酸素の活量におよぼす Si の影響が Table 2 に示す程度の Si 量の差では明確に現われなためと考えられる。いま、概要で述べた方法によつて同一脱ガス条件下における平衡酸素量の比を Table 2 に示す 2 鋼種について求めると、いずれも  $O(a)/O(b) \approx 0.9/1.0$  となり、平衡酸素量に大差は認められない。一方、Fig. 2 に示される脱酸効果の差異が出鋼時の溶鋼中にすでに存在した SiO<sub>2</sub> の分解が十分に行なわれなかつたためと考えることもできるが、この点に関しては別の機会に検討する。脱水素効果も Si 量の少ない溶鋼の方が一般に大きい。Si の水素の活量におよぼす影響から考えるならば矛盾した結果である。すなわち、Si は水素の活量を高める元素であり、他の条件が同じ場合には Si 含有量が高いほどその溶鋼の水素放出圧は高くなる。したがつ

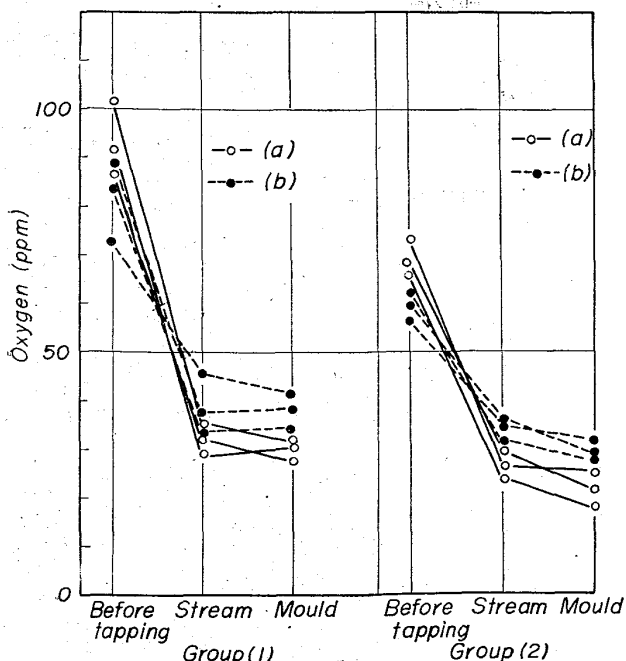


Fig. 2. Variation of oxygen content.

て上記の現象は、Si の低い溶鋼ほどさかんに行なわれる真空処理時の炭素による脱酸に伴って起こるものと考えられる。

出鋼脱ガス法においては、高温の溶鋼が真空にされた取鍋に注入されるため、使用する耐火材料と溶鋼中のCとの反応が問題となる。ここで詳細にわたる記述は行なわないが結論として W. COUPETTE<sup>4)</sup> も報告しているごとく高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 質の耐火材料を用いることが望ましい。

## 6. 結 言

以上、80 t 電気炉における出鋼脱ガスに関する調査結果を要約するとつぎのごとくである。

(1) 出鋼脱ガスによる溶鋼の脱酸および脱水素効果は大きく、鋳型内溶鋼の酸素は大略 20~30 ppm まで低下し、水素は 2 ppm 以下であった。

(2) また、脱ガス効果は真空処理前の Si 含有量の低い溶鋼ほど大きい傾向が認められた。

(3) 本法によつて得られた鋼塊の内部の清浄度は真空造塊による鋼塊とは甲乙つけがたいが、大気造塊による鋼塊に比較すると明らかに良好である。

## 文 献

- 1) 池見, 他: 日本製鋼技報, No. 2~5 (1951~1961)
- 2) 的場, 万谷: 学振 19 委, 炭素-酸素反応の平衡に関する推奨値 (1960)
- 3) A. TIX, G. BANDEL, A. SICKBERT: Stahl u. Eisen, **85** (1965), p. 1033
- 4) W. COUPETTE: Vakuu Technik, **13** (1964) Sept., p. 185

## (87) DH 真空脱ガス設備の概要とその効果について

住友金属工業, 製鋼所

松岡 秀矩・〇加藤 隆造

On the DH Vacuum Degassing Process and Its Effect.

Hidenori MATSUOKA and Ryūzō KATŌ

## 1. 緒 言

1955 年以降西ドイツを中心として各種の真空鑄造法, すなわちボフマー法, RH 法ならびに DH 法などが開発され鋼の内質を向上させるための研究が行なわれた。

当所においては 1958 年 4 月, 当時もつとも安定した操業を行なつており世界的にも普及していたボフマー式真空脱ガス設備を完成し, これにより鋼の内質の改善をはかつてきた。

すなわち水素の効果的な除去により白点などのガスに基因する欠陥は激減し, さらに製造工程中の熱取扱いを簡素化できるなど大いに成果をあげることができた。

一方 DH 真空脱ガス法は有害ガスの除去などの一般的な真空処理の効果に加えて, 酸化介在物の低減および脱ガス中に合金を加え非常に狭い範囲内に成分の調整ができる利点が認められているので, 1965 年 3 月 DH 設備を完成し, 同年 4 月から操業を開始し現在までに 220 チャージ, 1600 t の処理を行なつた。

以下 DH 設備の概要およびその効果について簡単に述べる。

## 2. DH 真空脱ガス設備の概要

Fig. 1 に製鋼工場の配置および DH 脱ガス設備の概要を示す。

### 2.1 配 置

80 t 電気炉と同時に 20 t, 25 t 電気炉鋼をも処理できる配置とした。

### 2.2 真空槽および昇降設備

真空槽の内面は塩基性煉瓦でライニングされており, 溶鋼温度降下防止のため黒鉛電極を用いる抵抗加熱法によつて 1600°C に保たれている。

真空槽の昇降は油圧で行ない, 最高速度 10 m/min まで自由に調節できる。なお, 昇降設備は自動運転が可能である。

### 2.3 排気装置

5 段スチームエゼクターのほかに粗引き用の補助エゼクターを備え, きわめて短時間に 0.5 mmHg まで排気できる。

### 2.4 合金添加装置

真空槽の上部に 40 コの合金槽を備え, 真空中で必要量の合金を細かく調整して添加できる。

### 2.5 付帯設備

受鋼取鍋を真空槽下部に運搬すると同時に棟間運搬をかねる自走式台車を備え, これにはロードセルが取り付けられており吸上げ溶鋼量を正確に記録することができる。

そのほか, 真空度, 槽内温度, 真空槽の位置および溶鋼温度などの記録設備を備えている。

## 3. 操 業 方 法

### 3.1 精錬法

DH 真空脱ガス法は溶鋼中の C による脱酸を行なうことにより脱酸剤添加時に生成する脱酸生成物の量を少なくすることに特徴があるので, 大部分はシングルスラグ法で溶製し未脱酸のまま出鋼する。

とくに低 S を要求される場合はダブルスラグ法とし脱硫を強化するが, この場合でも溶鋼中の Si を低くたもち真空処理時の脱ガスを活発にさせる。

出鋼温度は脱ガス中の温度降下を考慮し, 20~40°C 高くする。

### 3.2 脱ガス操作

受鋼取鍋を台車で真空槽下部に運搬し, 吸上ノズルを浸漬した後, 真空槽を排気することにより溶鋼の一部を真空槽内に導く。つぎに排気をつづけながら真空槽を昇降させて取鍋内溶鋼量の 8~15% を真空槽内に周期的に吸上げ, 順次脱ガスを進行させる。

Fig. 2 に中炭素鋼の脱ガス中における真空度の変化を示す。

真空度は脱ガス初期は高く脱ガスが進行するにしたがつて順次低下し循環係数 3 程度ではほぼ 4 mmHg まで下がる。ここで取鍋内の分析結果にしたがつて必要量の C, Mn などを加え成分調整を行ない, 最後に Si, Al などの脱酸剤を加えさらに昇降を繰り返す, 添加合金を十分混合した後脱ガスを終了する。この間脱ガス操作に要する時間は 12~15 min である。