

技術資料

UDC 669.18-982 : 669.18.046.517 : 669.18.046.554

RH および DH 真空脱ガス法の最近の進歩について*

松 永 久** · 富 永 忠 男***
 王 寺 睦 満**** · 田 中 英 夫****

On the Recent Progress of the RH- and DH- Vacuum
 Degassing Process of Molten Steel

Hisashi MATSUNAGA, Tadao TOMINAGA,
 Mutsumi OHJI, and Fusao TANAKA

1. 緒 言

溶鋼の真空脱ガス法は多種の方式が開発されているが中でも、RH 法と DH 法は転炉の高生産性に適合しているために、主流を占めるに至った。

DH 法は、1956 年に西独の Dortmund Hörder Union 社 (現 Hoesch Hutten Werke 社) により、また、RH 法は、1959 年に西独の Rhestahl Hüttenwerke 社と Heraus 社の共同研究により開発された。DH 法は、1959 年に八幡製鉄(株)(現 新日本製鉄(株)) により、また、RH 法は、1961 年に富士製鉄(株)(現 新日本製鉄(株)) により、他国にさきがけて技術導入された。

DH 法は、最初 25t の設備で、八幡製鉄所に導入され、各種の操業調査が行われた。その結果、1961 年同所に 70t の設備が建設されるに至ったが、時を同じうして、外国でも DH 法の実用性が認められ、1962 年以降、急速に世界各地で建設され、1976 年現在、世界で稼動中または建設中の DH 設備は 84 基に達した。また一基当りの処理能力も ATH 社 Bruckhausen の 400t、Jones & Laughlin Steel 社 Pittsburgh の 360t と大型化している。

一方、RH 法は、1961 年に日本における Generalisence を取得した富士製鉄(株) によつて、1963 年広畑製鉄所に 100t 実機設備が建設された。以降世界各地で建設が相次ぎ、1976 年現在世界で稼動中の RH 設備は 48 基に達した。RH 設備も転炉とともに大型化し、一基当りの処理能力も National steel 社 Weirton や新日鉄、大分の 300t クラスまで出現している。

さて、RH 法は、2 本の浸漬管の一方に Ar ガスを吹

き込んで溶鋼を取鍋から真空槽内に吸い上げ、他方から取鍋内へ排出する連続処理であるが、DH 法は、取鍋または真空槽を上下させて、1 本の吸上管を通じて溶鋼を真空槽内へ出入させる¹⁾²⁾。しかし、両法とも本質的に処理鋼種に差はなく、広く高級鋼に適用されている。

真空槽寿命の観点からは、溶鋼が連続的に、流動する RH 法の方が耐火物に対して苛酷な条件にあり、ここ数年各種改善がなされたものの、DH 法の真空槽寿命には到達していない。

一方、DH 法は、真空槽、外径が取鍋内径より大きくなり、処理量の下限に制約がある短所を持つ。

今回、DH 法、RH 法の設備技術、操業技術の進歩について述べるとともに、今後の課題を明確にしたい。

2. 真空処理設備の改善について

2.1 一般設備改善について

DH 法、RH 法ともに、近年自動化、安全・環境対策および機械化による省力化が著しく進歩した。合金鉄の受入・秤量・添加は操作室からの遠隔操作で行われ³⁾⁴⁾ 新日鉄、君津 DH では、超音波レベル計⁵⁾ による完全自動受入れも実施されている。また測温は、温度計のホルダーへの装着から測温後の除去まで完全自動化されている⁵⁾。

試料採取も機械化され、試料を分析室に送付する作業に人力が関与するものの大幅に作業改善されている。さらに、槽内観察用 ITV の設置、作業データ収録システムも完備し、操業中の労働負荷は大幅に削減された。一方処理中の溶鋼温度降下防止、真空槽内地金付着防止、さらに添加合金歩留の安定のため、真空槽内を還元性雰

* 昭和 52 年 2 月 25 日受付 (Received Feb. 25, 1977) (依頼技術資料)

** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 工博 (Hirohata Works, Nippon Steel Corp., 1 Fuji-cho Hirohata-ku Himeji 671-11)

*** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 (Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

**** 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp.)

囲気に保ち、かつ DH 法では $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 、RH 法では $1300\sim 1400^{\circ}\text{C}$ に保持する直流電気抵抗加熱法が取り入れられ、大きな効果を挙げている。この発熱体は人造黒鉛棒で製造され、耐用時間は $100\sim 150\text{h}$ で迅速交換が可能である。

真空排気は、スチーム、エゼクターを使用しているがコンデンサー冷却水の真空槽への逆流による水蒸気爆発防止のための水位レベル計の設置、蒸気噴射の騒音対策水冷チューブ付排ガスクーラー³⁾によるダスト捕集率向上および排ガス温度低下など、安全、環境面でも大幅に進歩した。

また、DH 法の吸上管、RH 法の浸漬管の補修、交換やスラグブレーカー取付などの準備作業を行う作業台車は従来より採用されているが、最近の大型 DH では、吸上管付着スラグ除去装置⁴⁾が設置されている。さらに、RH 法、DH 法、各々独特な設備改善もあるのでそれらについては、以下に項を改めて述べる。

2.2 RH の設備改善について

2.2.1 脱ガス槽

脱ガス槽本体の形状は、種々検討されたが、現在では設備保守の点から Fig. 1 に示すごとく単純な円筒型が最適だとされている。槽高は発生するスプラッシュ高さ

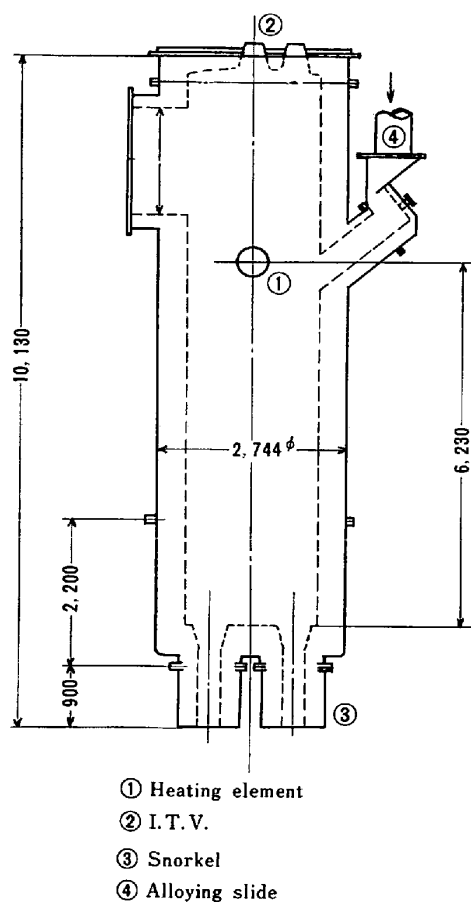


Fig. 1. Profile of the 100 tons RH vessel. (No. 4 RH plant at Hirohata Works)

で決まるが特に未脱酸鋼を処理する場合には、 10m 以上の高さが必要である。槽径は、槽内滞留時間と溶鋼反応面積の観点からは、大きい方がよいが、むしろ溶鋼処理量の下限值拡大の点から、取鍋内径より小さく、設計されている。

2.2.2 浸漬管、環流管

RH 設計上の重要なポイントは、環流速度を左右する Ar ガス吹込条件と環流管ディメンジョンの決定である。Fig. 2 に示すごとく環流速度を大きくするには、環流管径を大にすればよいが、環流管耐火物寿命の確保の点から一定の肉厚が必要であり、また環流管と浸漬管の着脱作業の容易性なども考慮して管径が決定される。

初期の頃、環流管は本体に対して、傾斜をもつて設置されていたが、冶金的に特別な相違がないことが判明して最近では垂直にとりつけている。上昇管と下降管の内径は互換性の点から同一にするのが最近の一般的傾向である。

2.2.3 Ar ガス吹込装置

Ar ガス吹込の位置は環流速度と浸漬管耐火物の溶損状況を考慮して決定される。Fig. 3 に示すように初期の頃 Ar 吹込口は、モルタル埋込穴で行われたがその後ポーラス煉瓦に変わり、最近では複数本のパイプが定着し、Ar 吹込量が安定した。さらに各パイプごと、独立に、自動流量制御を行う設備も採用されて、Ar パイプの目詰り防止に大きく寄与している。

2.2.4 脱ガス槽支持と昇降装置

稼働率向上を目的とした Twin Vessel 方式と呼ばれる脱ガス槽のクイックチェンジ方式には、新日鉄広畑

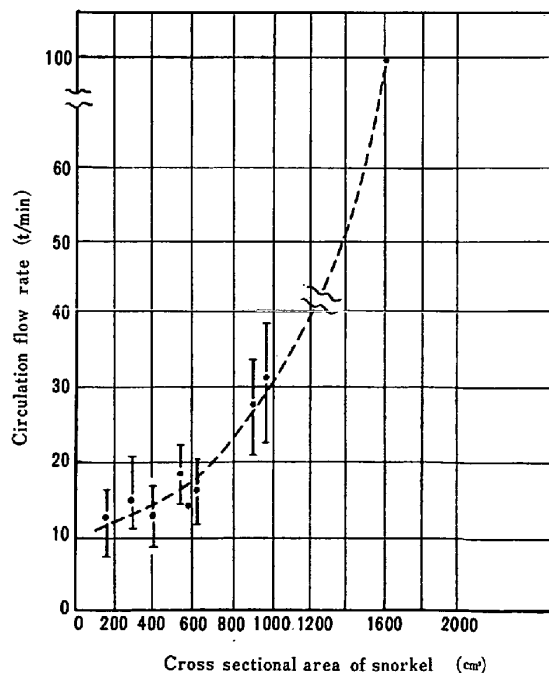
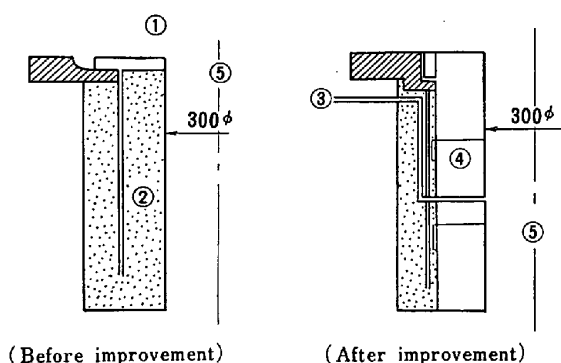


Fig. 2. Effect of the snorkel inner diameter on the circulation flow rate of molten steel.



- ① Porous plug for argon gas injection
- ② High alumina castable
- ③ Stainless steel pipe for argon gas injection
- ④ High alumina brick
- ⑤ Center of snorkel

Fig. 3. Improvement of the construction of the snorkel of RH process.

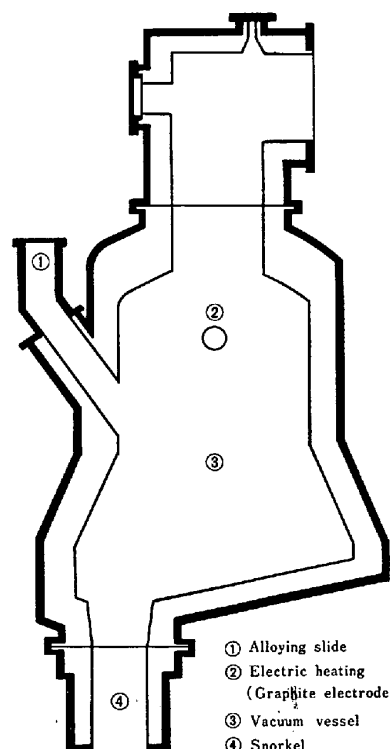


Fig. 5. Profile of the 250 tons DH vessel at Kimitsu Works.

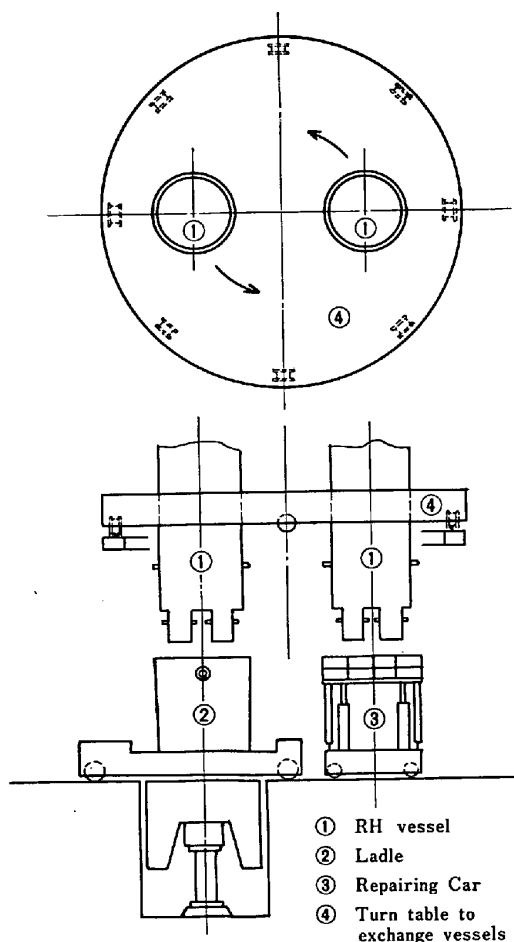


Fig. 4. Sketch of the twin vessel method of RH process.

の台車旋廻タイプと新日鉄名古屋の台車平行移動タイプがあるが、この方式では 10 min 程度で槽交換が行われ

る。この一例を Fig. 4 に示す。

脱ガス槽支持方式には、槽固定式と槽移動式がある。槽固定式では油圧シリンダーによつて取鍋を昇降させる設備保守が容易なため、この方式が一般的である。一方槽移動方式は、新日鉄八幡で採用されている。槽本体と合金鉄添加設備等一式をウィンチによつて昇降させるもので、保守の面では槽固定式より煩雑であるが取鍋からの溶鋼流出事故の場合には被害が少ない長所をもつ。

2.3 DH 法の設備改善

国内の DH 設備の発展は、1968 年を境に二時期に分けられ、それ以前は新日鉄八幡の 70 tDH をはじめとする小型機の時代であり、1969 年以降、八幡 180 tDH をはじめ急速に大型化して来た。この間、種々の技術進歩がみられたが、主なものを以下に述べる。

2.3.1 真空槽

当初吸上管は槽底中央部に設けられたが、Hoesch A. G. の経験に基づき梨型真空槽の側壁寄りに移され現在に至っている。槽形状については、1967 年に Hoesch A. G. が処理量に応じた 5 種類の標準型を確立したが⁶⁾以降国内の大型 DH はすべてこの標準型をモデルにしている³⁾。この標準型は (i) 脱ガス効率最善の観点からの槽底面積と槽底-吸上管の断面比の決定 (ii) 合金鉄添加の容易さと成分調整の确实さ (iii) 内張鍍瓦築造の容易さの三点を考慮して決定されているが、真空槽底部の鉄皮外径が取鍋内径より大きく、処理量の下限に制約があるという短所を持つ。この一例を Fig. 5 に示す。

2.3.2 昇降装置

真空槽内に溶鋼を出入させるため、真空槽または取鍋を3~4回/minの周期で昇降させるが、初期の設備では真空槽昇降方式が採用された。一時期1966年新日鉄光に導入された迅速交換可能なTwin Vessel方式を契機に鍋昇降方式が採用されたが、DHの大型化に対し、八幡180t DH 梘子式真空槽昇降方式が採用されるに至り、以降この方式が一般的となった³⁾⁴⁾。

梘子式は(i)昇降駆動力が小さくて済み、建設費が安価。(ii)停電などの際にも、非常用駆動力源を必要としない。(iii)1本の油圧シリンダーで槽の昇降ができるので、構造が簡単で保全が容易である長所を有している。この一例をFig. 6に示す。

昇降速度は、初期6~7m/minであつたが、取鍋内溶鋼の混合効率向上のために、10m/min以上の速度が一般的になった⁶⁾。

DH処理中の昇降操作は、脱ガス初期の数回を除いてすべて自動で行なわれている。

3. 真空処理耐火物の改善について

耐火物寿命は、真空処理の安定、処理能力、処理量に大きな影響を及ぼすが、近年、処理時間の延長、処理間隔の短縮および連続铸造との組合せによる高温化など、耐火物を取りまく状況は厳しくなっている。こうした状況下で、種々の改善がなされ、耐火物寿命は次第に延長されていった。以下にその主要な改善点を述べる。

3.1 DH法における耐火物改善

初期の真空槽は、ハリアルミナあるいはマグネシア錬

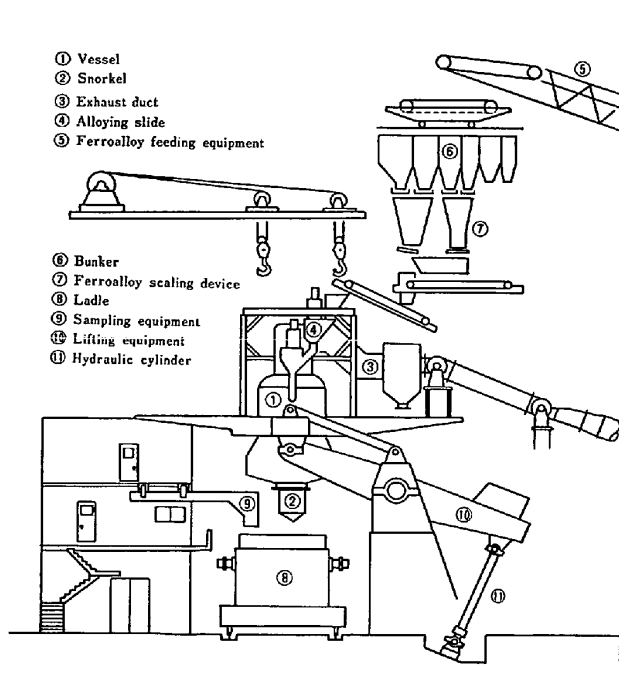


Fig. 6. Sketch of the 250 tons DH process at Kimitsu Works.

瓦が使用されていたが⁷⁾、1965年頃から槽下部に電鍍マグクロ錬瓦、槽上部にマグクロダイレクトボンド錬瓦が使用されている。その後(i)焼成ポーサイト槽内添加(ii)取鍋内スラッグの槽内侵入防止(iii)築造法の改善(iv)吹付機による槽内補修(v)槽底鉄皮変形防止などの各種操業改善がなされ、真空槽鋼浴部寿命は、1973年に1322回、1975年に1589回と飛躍的に伸びた⁸⁾。

なお、槽上部寿命は3000~4000回で高位安定している。槽底部の築造法の改善をFig. 7に示す。

3.2 RH法における耐火物の改善

初期の脱ガス槽にはハリアルミナ錬瓦が使用されたがその後、耐食性、耐スポール性の優れたマグクロダイレクトボンド錬瓦に変った。また最近では、電気抵抗加熱法の導入により、耐スポール性に対する要求が緩和されたため、マグクロリボンド錬瓦の適用も可能となり、脱ガス槽寿命の飛躍的向上が期待されている。一方、脱ガス槽下部の築造法も、環流管上部および敷部の錬瓦浮上防止のための球面底部構造から、築造の簡単な改良平面底部へと進歩した。この改良点はFig. 8に示すごとく敷錬瓦厚みを大きくし錬瓦の迫り強度を向上させたことと側壁錬瓦形状を横ぜり形状からバチ型形状に改善したことにある。この改善で損傷速度は約40%低下した。これに補修技術が加味されて、下部槽寿命は、1973年100回程度であつたものが現在400回程度に、さらに716回を記録するに至っている。また、RH法はDH法と異

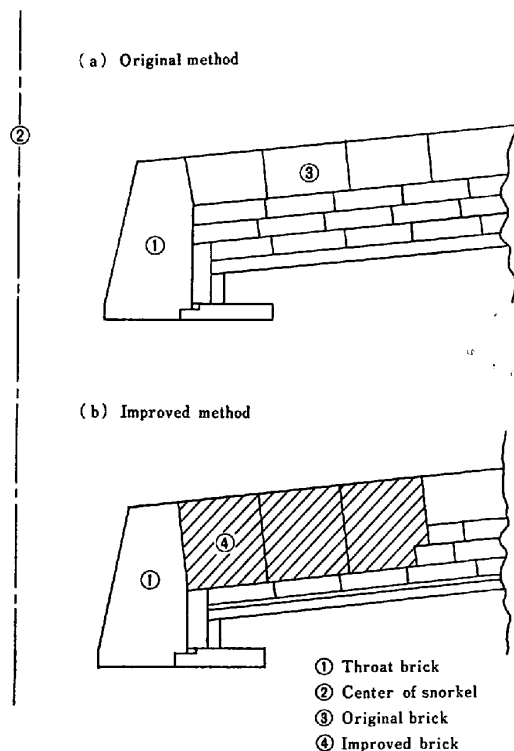


Fig. 7. Improvement of the brick work of the bottom part of DH vessel.

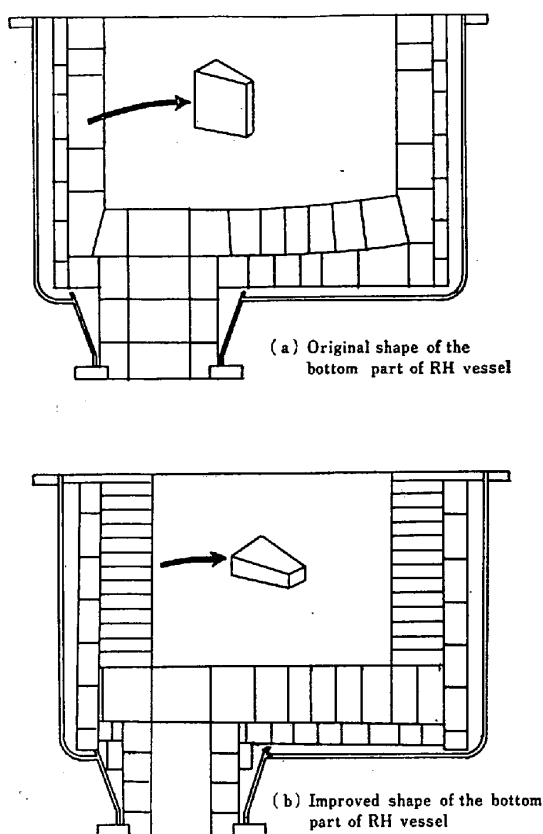


Fig. 8. Improvement of the shape of the bottom part of RH vessel.

なり、Ar ガスを吹込む浸漬管を有し、その寿命が 20 回弱で処理能力に大きな影響を及ぼしていた。浸漬管についても、初期のモルタル穴からの Ar 吹込からポーラス鍍瓦に進み、さらにステンレスパイプによる吹込方式になるとともに、耐火物もキャストブルから鍍瓦に変更され現在寿命も 70 回程度に延長されている。

4. 真空処理の操業と品質

溶鋼を真空脱ガス処理することによって、脱炭、脱水素、脱酸が進行するのみならず、非金属介在物の減少、成分微調整による品質の安定化という品質向上の効果が著しい。また、最近では、処理費低減技術の進歩により添加合金歩留向上の利点も考えられるようになった。

真空脱ガス処理の一つの利点は、極低炭素鋼の製造を容易にしたことであり、これによつて、ステンレス鋼や電磁鋼の製造が著しく容易になった。

最近では、ステンレスの製法が従来の電気炉-DH 法から、新日鉄光では電炉-AOD 法⁹⁾に、八幡では Cr 系ステンレス鋼が転炉-VOD 法に¹⁰⁾¹¹⁾、Ni 系ステンレス鋼も順次電気炉-VOD 法に室蘭では転炉-RHOB 法¹²⁾に変わって来ている。以下に、RH 法、DH 法の操業と品質につき詳述する。

4.1 RH 法の操業と品質

広畑 1 号機設置以来、基礎的研究のみならず操業技術

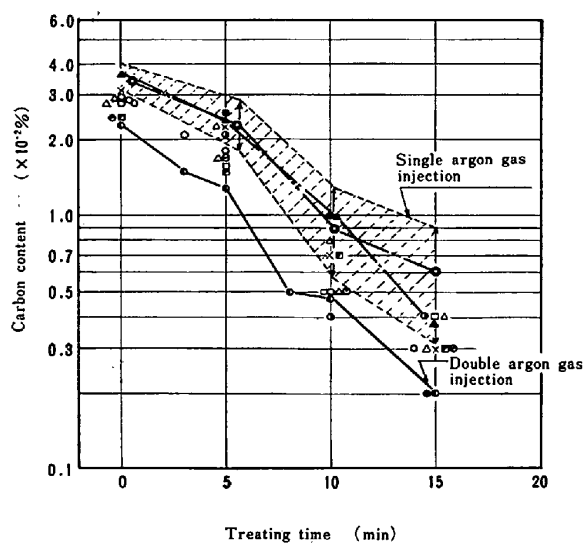


Fig. 9. Comparison of the decarburization rate between the double argon gas injection method and the single argon gas injection method during RH vacuum treatment.

の開発がなされ、世界に先がけて未脱酸鋼の処理法¹³⁾など多くの開発がなされた。以下に、RH 法の操業につき述べる。

4.1.1 脱炭反応

RH 槽内の脱ガス反応は、渡辺ら¹⁴⁾¹⁵⁾によつて詳細な考察がなされている。脱炭は、処理時間とともに直線的に進行するが、脱酸度の影響が大きく、20 min 処理では半脱酸鋼で 0.03%、完全脱酸鋼は 0.01% 程度である。脱炭を促進する方式に、Ar ガス 2 段吹込法¹⁶⁾がある。これにより環流速度が増大し Fig. 9 に示すように脱炭定数が 30~40% 大になる。また従来の排ガス成分とガス流量の連続測定による脱炭量算出法¹⁷⁾に、コンデンサー中へのガス逸散補正、排ガス密度などの修正を加えた実用脱炭計が当社の RH 設備で稼働している。

4.1.2 脱水素

脱水素に関しては多くの研究報告^{18)~20)}が出されている。RH 法では、真空槽内の溶鋼表面やスプラッシュ表面のみならず吹込まれた Ar ガスや発生する CO ガス中へ水素の拡散によつても脱水素が進行する。

脱水素も脱酸度の影響を受け Fig. 10 に示すごとく完全脱酸鋼の脱水素率が 65% であるのに対し、脱炭反応の激しい未脱酸鋼では 70% 以上に達する。未脱酸鋼に、Ar 2 段吹込法を適用することにより、さらに安定して低水素レベルに到達させ得る。

4.1.3 脱酸

RH 処理後の到達酸素は、出鋼時脱酸度の影響が大きく未脱酸鋼、半脱酸鋼、完全脱酸鋼の順に低くなる。また Ar 2 段吹込法によつて一層低酸素鋼を得ることができ。一方 RH 処理中取鍋耐火物からの酸素吸収もあ

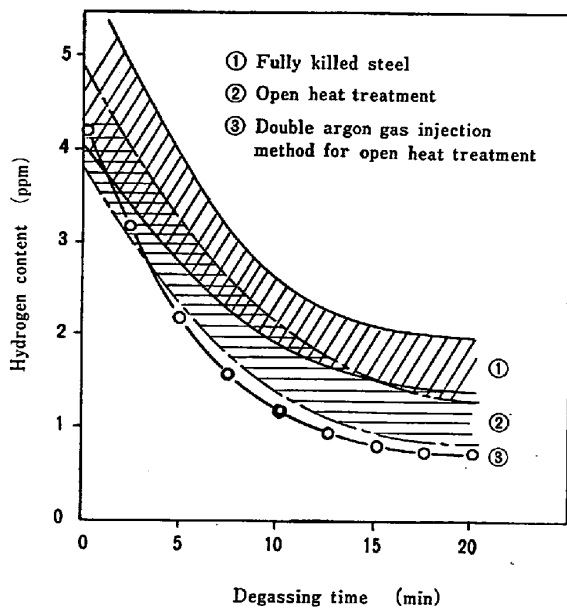


Fig. 10. Influence of the degree of deoxidation and Argon gas injection method on the behavior of hydrogen in molten steel.

り Fig. 11 に示すように取鍋錬瓦をロー石質からアルミナ質に変えることにより強脱酸鋼で処理後酸素 20 ppm 以下という電気炉鋼と同等の低酸素鋼を得ることができ(21)。

4.1.4 環流速度

RH 法での環流速度は脱ガス速度、溶鋼混合速度を決定する重要な要因であるが環流管断面積の増大とともに増加する。また Ar 吹込量の増加により環流速度が増大することは、Ar 2 段吹込法によつて確認されている。さらに未脱酸鋼の方が、完全脱酸鋼よりも環流速度は大きい。

4.1.5 処理中の温度降下

処理中の温度降下速度は溶鋼量に依存し 100 t の場合は $2\sim 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、300 t の場合は、 $0.7\sim 1.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ であり電気抵抗加熱を行うと $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の温度低下防止効果が認められる。

4.1.6 RH 処理鋼の品質

RH 法は高張力鋼、構造用鋼、ステンレス鋼、ホーロー用鋼、電磁鋼、工具鋼、鍛造用鋼など、広く高級鋼の品質改善に役立つ。

厚板材では、RH 処理により鋼中水素、介在物が大幅に減少し、探傷欠陥、ラミネーションなど鋼板内部欠陥が著しく改善される(25)。

溶接用 80 キロ鋼の衝撃値は、転炉鋼でも鋼中燐、硫黄を低減し、RH 処理することにより電気炉鋼と同等に改善される(21)。

耐ラメラティア鋼は、RH 処理後の清浄鋼に REM 添加を行うことにより、Z 方向絞り値 40% を保証する鋼板を転炉製造可能にした(26)。

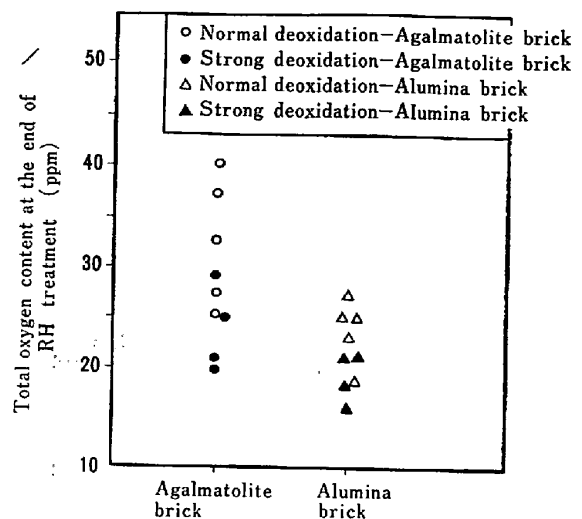


Fig. 11. Influence of the quality of ladle refractory and the degree of deoxidation on the total oxygen content at the end of RH treatment.

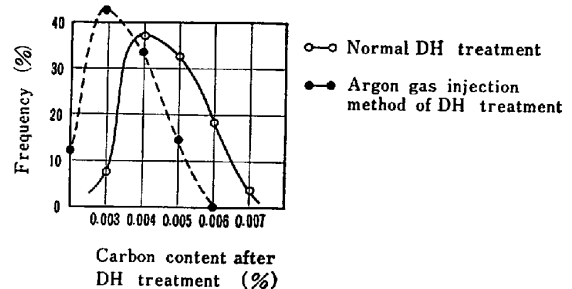


Fig. 12. Carbon content of the very low carbon steel.

出鋼時は未脱酸で、RH 処理中脱酸した鋼は超大型介在物が少なく、低温靱性や曲げ加工性が著しく改善される(27)。曲げ加工性は特に低硫鋼に対してその効果が著しい(28)。

4.2 DH 法の操業と品質

DH 法の操業技術の進歩も著しく、最近では、LF 法との組合せで(29)転炉鋼の品質が電気炉鋼以上にまで高められている。以下に、DH 法の操業について述べる。

4.2.1 脱酸

真空槽内での脱ガス反応は真空容器内の溶鋼中の気相のガス濃度差、有効反応表面積および物質移動係数に比例し吸上溶鋼量に反比例する。これまで、脱ガス反応を促進するため反応面積と物質移動係数を大にする努力が払われてきた。反応表面積を増大させる方法として、八幡 DH にて真空槽内に不活性ガスを導入した結果(30)、Fig. 12 に示すごとく極低碳素鋼の処理後 [C] が平均 0.001% 低下した。

一方、物質移動係数を増大させる方法として、君津 DH にて高速昇降による真空槽内への吸上速度の増加を試みた結果 Fig. 13 に示すようにその効果が認められ

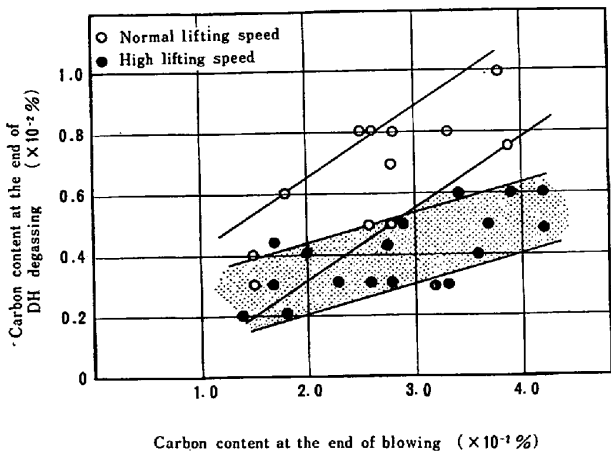


Fig. 13. Improvement of decarburization rate by the high lifting speed of DH process.

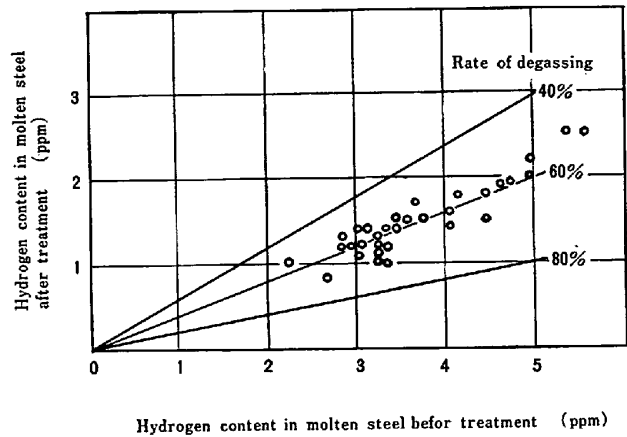


Fig. 15. Hydrogen degassing by the argon gas injection method of DH process.

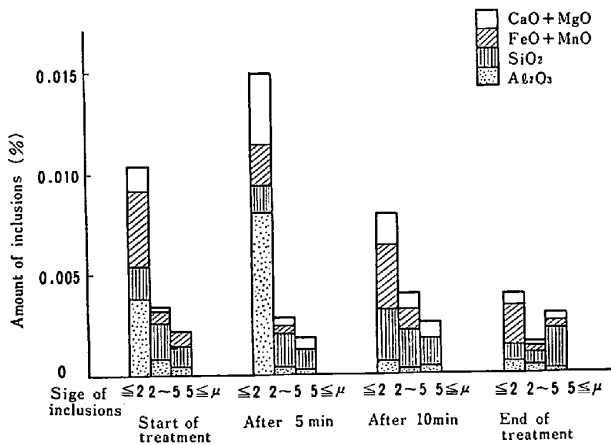


Fig. 14. Variation of the composition and size of inclusions during DH Vacuum treatment of high carbon wire steel.

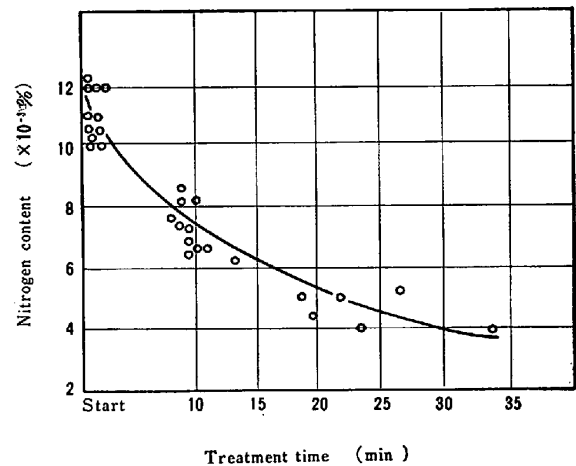


Fig. 16. Nitrogen degassing during DH treatment of nitrogen added steel.

た¹⁸⁾。こうして、DH法により大気中精錬では到達し得ない極低炭素鋼の製造が可能となった³⁰⁾。

4.2.2 脱酸

DH 処理前の溶鋼は、極低炭素の場合は真空脱炭反応促進のために未脱酸状態で、中～高炭素鋼の場合は一般に酸化介在物の浮上低減による清浄鋼を安定して得るために Si, Al など脱酸された状態で脱ガス処理される。未脱酸溶鋼の真空脱ガス中の CO 反応に伴う脱酸反応については種々考察されているが³¹⁾ DH 処理の脱酸調整は酸素濃度電池により容易に行うことができる。

中・高炭素鋼の場合、できるだけ早期に脱酸を行ない Fig. 14 に示すような酸化介在物の浮上促進と取鍋スラグからの酸素の拡散を防止することにより、高純度鋼を製造できる。

4.2.3 脱水素

DH 処理による脱水素率は約 50% であるが⁴⁾ Fig. 15 に示すごとく、真空槽へのガス導入により約 10% 脱水

素率が向上する。

4.2.4 脱窒素

溶鋼中の窒素の平衡溶解度は水素に比して約 15 倍であり、脱窒素速度が遅いため Fig. 16 に示すように窒素含有量が約 40 ppm 以下では、脱窒素現象はほとんど認められない。しかし窒素含有量がこれ以上の領域では脱窒素が進行する。

4.2.5 成分調整

DH 処理中に添加された合金鉄は、2 min 以内に完全溶解し、混合することが実験で示されている³²⁾、従つて溶解成分は、通常鋼の場合 C = ±0.01%, Si = ±0.02% Mn = ±0.05% の範囲に調整できる³³⁾。また、合金鋼の Sol, Al は操業技術および分析技術の向上により ±0.001% の範囲に 90%, ±0.002% の範囲に 100% 適中している。

4.2.6 温度降下

DH 処理中の取鍋溶鋼の温度降下に影響をおよぼす要因は種々あるが、ヒート間のバラツキは少なく再現性が

よいため、DH 処理後の温度を狭い範囲に適中できる。温度降下速度は受鋼量の影響を受け、例えば 180 t DH では、1.7~2.0°C/min, 70 t DH では 2.5~4°C/min 程度であり、処理初期の温度降下速度が大きい。

4.2.7 DH 処理鋼の品質

DH 処理の目的も、RH 法と全く同様であるが、DH 処理鋼の最近の品質の例を以下に示す。厚板の DH 処理の主目的は、脱水素と介在物減少による UST 成績の向上であるが、例えば厚板用転炉一般キルド鋼では DH 処理により介在物は半量に減少する。線材用高炭素鋼では C 系介在物が問題となるが DH 処理効果として、介在物の大きさを評点化した Michelin Index で比較すると、非 DH 材の 5.1 に対し DH 材は 3.0 と大幅に改善されている³⁴⁾³⁵⁾。

低合金バネ鋼では、疲労強度が重要であるが疲労破壊に最も悪影響のある Al₂O₃ 系介在物の減少におよぼす DH 法の効果は顕著であり、Michelin Index で非 DH 材の 1/13、清浄度で 2/3 に減少している。シームレス管材の DH 処理の目的は酸化物系介在物の減少による清浄度の向上である³⁶⁾。

DH 材は注入前の鋼中酸素量も 50 ppm 程度で非 DH 材の約半量と少なく、鋼塊ボトム内質部の地疵総長も、0.02 mm/cm² 以下で非 DH 材の 0~0.1 mm/cm² に比較し低位安定している。

5. 結 言

DH および RH 法は開発以来約 20 年の実績をもつがその間着実に技術改善がなされてきた。特に、最近数年の間に自動化、省力化が著しく進み、耐火物寿命延長のための諸技術の進歩により操業コストも大幅に低減している。

現在、高級鋼製造のために必須の処理技術としてその地位を確立しているが、今後、操業コスト低下とともに、合金的節減、成分微調整等の観点から広く一般鋼に対する技術としても発展していくものと思われる。

文 献

- 1) T. KATO and K. MATUDA: 1st International DH-Vacuum Conference, (1962) Riechtenstein
- 2) 加藤 健, 松田亀松: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1775/1777
- 3) N. MORITAMA and H. TANAKA: 6th International DH-Vacuum Conference, (1973) Stresa (Italy)
- 4) 森玉直徳, 田中英夫, 江村信之: 製鉄研究, 272 p. 97/101
- 5) H. ISO and H. TANAKA: 5th International DH-Vacuum Conference, (1970) Morgantown (U. S. A.)
- 6) G. ZAHN: 4th International DH-Vacuum Conference (1968) Bürgenstock (Swiss)
- 7) T. KATO and K. MATUDA: 2nd International DH-Vacuum Conference, (1964) Puerto Rico

- 8) K. WADA, S. OGURA, and T. MASUDA: 7th International DH-Vacuum Conference, (1975) Malente, Fed. Rep. of Germany
- 9) 第 50 回特殊鋼部会資料, 新日鉄, 光, 特 50-15-12 (1974)
- 10) 第 48 回特殊鋼部会資料, 新日鉄, 八幡, 特 48-15-共 8 (1973)
- 11) 第 49 回特殊鋼部会資料, 新日鉄, 八幡, 特 49-15-自 11 (1974)
- 12) 大久保静夫, 都築誠毅, 恵藤丈二, 桑原達朗: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, S 400
- 13) K. KUMAI, K. ASANO, R. ARIMA, and T. SAEKI: Proc. 4th Internat. Conf. Vac. Met. Tokyo (1973) "Production of Killed Steel for High Quality Plates by RH Vacuum Treatment"
- 14) 渡辺秀夫, 浅野鋼一, 佐伯 毅: 鉄と鋼, 53 (1967) 3, p. 266/300
- 15) 渡辺秀夫, 浅野鋼一, 佐伯 毅: 富士製鉄技報, 16 (1967) 2, p. 89
- 16) 古垣一成, 山岸正幸, 穴吹 貢: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, S 507
- 17) 恵藤丈二, 小野沢昌男, 椎野秀一, 大滝 浩: 鉄と鋼, 56 (1970) 4, S 52
- 18) 渡辺秀夫, 浅野鋼一, 佐伯 毅: 鉄と鋼, 54 (1968) 13, p. 1327
- 19) 渡辺秀夫, 浅野鋼一, 佐伯 毅: 鉄と鋼, 53 (1967) 10, S 267
- 20) 日本鉄鋼協会特殊鋼部会報告, 鋼の真空溶解および真空脱ガス法の進歩 (1969)
- 21) 第 54 回特殊鋼部会, 新日鉄広畑提出資料, 転炉における高級鋼の製造技術について (昭 51. 10 月)
- 22) 渡辺秀夫, 浅野鋼一, 宮川一男他: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1773
- 23) 宮川一男, 森川博文他: 鉄と鋼, 53 (1967) 3, p. 302
- 24) 岡部英雄, 片山善行, 太田豊彦, 飯田義治: 鉄と鋼, 53 (1967) 10, S 265
- 25) 松井一美, 中山正時, 有馬良士, 山崎信行, 浅野鋼一: 富士製鉄技報, 13 (1964) 4, p.
- 26) 塗 嘉夫, 広本 健, 北村 修, 八尾雅弘, 関谷正道, 土師利昭: 鉄と鋼, 61 (1975) 12, S 507
- 27) 有馬良士, 佐伯 毅, 木部昌臣, 中野武人: 鉄と鋼, 58 (1972) 10, A 78
- 28) 古垣一成, 島袋盛弘, 穴吹 貢: 鉄と鋼, 56 (1970) 4, S 51
- 29) 第 52 回特殊鋼部会資料, 新日鉄, 八幡, 特 52-15-共 4
- 30) K. MATUDA, H. KAJIOKA, and H. ISO: 3rd International DH-Vacuum Conference (1966) Berlin West Germany
- 31) H. ISO and K. MATUDA: 5th International DH-Vacuum Conference (1970) Morgantown Pen (U. S. A.)
- 32) 森久, 松田亀松, 田中英夫, 谷沢清人: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 218/221
- 33) 田中英夫: 4th International DH-Vacuum Conference (1968) Bürgenstock (Swiss)
- 34) 岡本一生: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 38
- 35) 松田亀松: 鉄と鋼, 53 (1967) 4, p. 444
- 36) K. MATUDA and H. ISO: Trans. of Vacuum Metallurgy Conf., (1965) June, p. 355/365