

技 術 資 料

純酸素上吹転炉製鋼法に就いて

土 居 襄*

THE OXYGEN CONVERTER PROCESS —REVIEW—

Jo Doi

I. 転炉製鋼法の発達と上吹転炉法の出現

転炉法は近代的製鋼法の主流として平炉法及び電気炉法と並び称せられるものである。これら三つの方法は何れも19世紀後半に起り、既に百年に及ぶ歴史を有するが、現在では世界各国に於いて各々の原料其他の地方的事情に依りて、夫々特徴ある発達を遂げている。転炉法は中でもその歴史は最も古く、又一方最近に於いて技術的内容を著しく更新した点で最も新しい方法と云う事が出来る。特に本稿に於いて解説しようとする純酸素上吹転炉製鋼法は製鋼技術史上に一頁を飾るに足る革命的な新方法で、本法の出現は Bessemer 法 Thomas 法の発明の場合と同じく転炉法に一新紀元を劃したものである。事実近年転炉法の改良案は相次いで数多く出現したにも拘はらず、何れも夫々局地的発展に留るに過ぎない。然るに上吹転炉法は Austria の Linz 及び Donawitz の 2 工場で 1952~3 年に相次いで操業に成功して以来、今や殆ど世界各国に於いて盛に計画乃至実施される様になり今後の製鋼界に重大な影響を及ぼす態勢となつた。

今、上吹法実現の意義を明らかにする為 Bessemer 以来最近に至る迄転炉法が如何なる発展をなして来たかに就いて簡単に触れて見よう。元來転炉法の発達は 1855 年 Henry Bessemer のオリジナルな酸性転炉法の発明に次いで 1877 年 G. Thomas によつて塩基性転炉法が発明された事によつて大いに伸長した。両者は夫々主として米国及びヨーロッパ大陸に於いて発達し、特にヨーロッパに於けるトーマス法は第一次大戦に至る迄製鋼法の主流となり、その用途は殆どあらゆる鋼種に迄及んだ。又炉容設備の点でも次第に改良進歩が行われ大規模な転炉工場が出現するに至り元々転炉法の具有する高能率性と良好な経済性を遺憾なく発揮し、一大勢力を誇る事となつた。然るに第一次大戦頃より、機械工業の進歩発達と共に製鋼資源としての屑鉄が大量に出廻る様になつた事、及び使用者の鋼質に対する要求が次第に酷し

くなつた事等から平炉法、電気炉法は欧米何れに於いても次第に盛になり、特に米国に於ける平炉法の発達は極めて著しく Bessemer 法は合併法に使われる以外は段々低調となつた。(Fig. 1) 歐洲に於いても同様な傾向が起つたが (Fig. 2) 歐洲の中でも特に独乙初め Belgie,

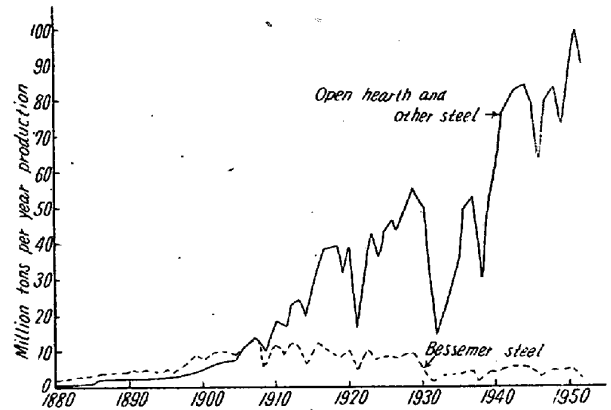


Fig. 1. Production of ingot steel in the U.S.A.

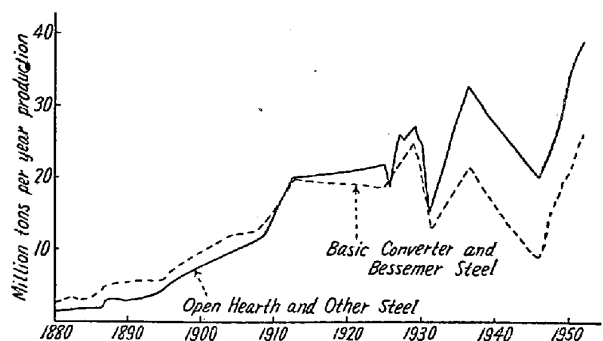


Fig. 2. Production of ingot steel in western Europe.

Luxemburg, 等 Minett 鉱等の高磷鉱石の存在の故に Thomas 法に頼らざるを得ない立場に在る国に於いては寧ろ積極的に転炉鋼の鋼質改良を目標として特に第二次大戦前後に於いて非常に多くの研究が行われた。

* 日本鋼管株式会社川崎製鉄所, 第二製鋼部

元来転炉鋼が平炉と区別さるべき性質を有する事は相当古くから人々に知られていた。この事は鉄鋼の性質の科学的な研究が進むに従つて明確な認識となり、1930年に至りドイツ鉄鋼協会の主催する大々的なトーマス鋼の実際使用試験の結果平炉鋼と転炉鋼の使用分野の区分は比較的明らかにされた¹⁾。即ち普通転炉鋼は良好な熱間加工性を有するにも拘はらず強烈な冷間加工の要求される用途には不適當であるとされた。その原因は転炉鋼の有する高い N, P, O 含量に歸せられると云う事が多くの研究者の一致した意見となつた²⁾。従つて転炉法を鋼質改良の面から進展させようとする努力はこの3元素の減少に向けられ、特に低 P, 低 N の転炉鋼を造る事は長い間転炉技術者に与えられた重要課題となつた。この事は特に第二次大戦中の独乙に於いて平炉法によつて特殊鋼を造り転炉法によつて総ての高級普通鋼を造らねばならぬと云う要求によつて益々加速された。最初の成果は H.P.N 法³⁾の出現である。この方法は鋼浴を浅くし、大量の鉄鉱石を吹錬中に加える事によつて極端な低温操業を行い N, O, P を低くしようとするものであり、実際に P 0.060% 以下、N 0.012% 以下と云う冷間加工性の良い鋼を得た。然しこの方法はその操業の特性自体から低熱に過ぎる湯を得る事となり良好な下注鋼塊が得難く、歩留も低下する欠点があつた。MA 法⁴⁾はこれを解決する為に Dr. Naeser の研究⁵⁾を根拠として発達した横吹転炉法であつて、P, N 含量は一層下り且良好な造塊性を得たがこれも羽口の耐久性歩留が悪化する点で作業的の難点があり長くは続かなかつた。米国に於いて研究された turbo hearth⁶⁾⁷⁾ も一種の横吹転炉であるが矢張り羽口並びに炉の寿命悪く、この方法がその後実用化される徴候は甚だ少い。独乙の trommel konverter⁸⁾も同様の主旨のものである。之等の方法は何れも中間的な解決に終つたが、勿論転炉鋼の鋼質改良に一步を進めたものとして重要である。

一方、第二次大戦後は解決の主手段は転炉の吹錬用空気の代りにその一部又は全部を N を含まぬ他の酸化力あるガス即ち O₂, CO₂, H₂O 等に置きかえる方向に指向された。中でも酸素の使用は大容量の工業用酸素発生機の完成により最も有力な手段となつた。Thomas 転炉に酸素を富化した空気をを用う事は既に 1925 年、A. Brüninghaus¹⁰⁾ 及び J. Haag¹¹⁾ によつて考案され、後に独乙の Rosenberg, Max. Hütte に於いて作業化されたが¹²⁾この時代の酸素使用の目標は単なる熱効率の改良による屑鉄溶解の増加程度の認識に過ぎなかつた。戦後の酸素使用の目的は鋼質の改良を主目的とし逸早く、

G.H.H. 等で採用され¹³⁾ 先の H.P.N. 方式の冷却法を用い、又更に石灰石を用い、又 CO₂, H₂O を併用する方法等あらゆる可能性が試験され夫々非常に期待出来る効果を収め続々と実施に移された。日本鋼管に於いても 1953 年以來底吹酸素富化法を採用し好成績を収めている。酸素を富化する方法は酸素富化率の上昇と共に効果も上るが富化率 40% 以上となると冷却方法に困難を来たし炉底孔を破壊する傾向が増大する。一方空気の使用を中止して O₂ と CO₂ 又は O₂ と H₂O を用うる方法では CO₂, H₂O 自身が分解熱吸収の為に冷却効果を自動的に保有する事となり単なる酸素富化法の様な困難を生ぜぬ利点があり、前者は Dortmund¹⁴⁾ 及び John Cockerill¹⁵⁾ に於いて、又後者は Haspe¹⁶⁾, Ougrée Marihaye¹⁷⁾ で実験の上一部実施され 0.003% 程度の極端な低 N₂ 鋼の製造に成功したと云われている。然し之等の方法は O の他に CO₂ ガス H₂O ガスの大量発生、混合等の繁雑性があり、又安い屑鉄が余り使えぬと云う原価的の欠点がある、又 H₂O の使用は矢張り炉底寿命低下の傾向を生ずる。酸素を多く富化する事には前述した制限があるとは云へ理論的には純酸素のみを用いる事が有利な事は明らかであるため転炉で純酸素を 100% 使用する事も一つの課題として種々研究された。

既に 1936 年 O. Lellep¹⁸⁾ は底吹転炉で純酸素 100% を使う実験を行つた。又 Kondakow¹⁹⁾ も同様の試験を行つている。之等は冶金的の好結果にも拘はらず、これ迄の普通の炉底孔を唯一回の吹錬で破壊した。即ち酸素を 100% 使う事は底吹炉によつては不可能である事が判明した。R. Durrer は 1932 年 Berlin 大学に於いて純酸素を使う方法の研究に入り一時大戦の為に中止したが C. V. Schwarz²⁰⁾ も Aachen 大学に於いて同様の研究を行つた。戦後 R. Durrer は Swiss に於いて Hellbrügge²¹⁾ の助力によりこの方法を更に進め今日の上吹転炉法の原型とも云うべき方法に到達した。即ち彼等は純酸素を使う方法として従来の底吹型転炉を放棄し、羽口用炉底を有しない転炉を用い、鋼浴の上方から水冷の Lance を通して酸素を浴に吹きつけて精錬する事に成功したのである。かかる半工業的な成功は後に Austria に於いて遂に本格的に工業化されるに至つた²²⁾。Austria は元来年産 100 万トン前後の小規模な鉄鋼生産国であり主たる製鋼資源は Steiri の鉄鉱石を原料とする所謂 Stahl Eisen で反面屑鉄資源は甚だ乏しい国である。従つて同国は戦後 Montan Union の一員として鋼生産を増大する為にかかる Stahl Eisen を主原料とし、これを最も能率良く安く製鋼し而も優秀な鋼を得る

製鋼法を種々探究した。その結果従来の底吹転炉法²³⁾は勿論平炉法、電気炉法は何れも彼等の満足を得ず、結局 R. Durrer の提案による上吹転炉法が最も魅力あるものとして取上げられた。かくして彼等は数多くの実験を行つた後驚くべき短時間内に同法を本格的に工業化する事が出来た²⁴⁾。しかも其の後の本格的生産操業の成績は寧ろ実験当時よりも良好となつている。

この様にして実現された上吹転炉法は懸案の N, P, O の問題を殆ど徹底的に解決したばかりでなく能率、経済性も従来の転炉法に劣らぬ実力を有している。その取扱い得る銑種は従来転炉法の対象となり難かつた平炉銑の範囲であり、更に最近は Bessemer 銑に近い銑鉄を有する Hamilton における上吹法の成功があり、又 Mannesmann²⁵⁾ August Thyssen²⁶⁾ に於ける Thomas 銑の上吹法の試験は未だ完全な成功を示していないとは云いながら高 P 銑に対する上吹法の可能性を暗示している。

II. 上吹転炉法の操業

上吹転炉の操業は一見して従来の底吹転炉工場特に、Thomas 工場のそれと酷似している。即ち梨形の傾動し得る炉体に熔銑その他の原料を装入し普通底吹転炉とほぼ同じ様な速度で迅速に精錬を行い適当な時間的間隔で出鋼し造塊してゆくのである。即ち上吹転炉は従来の転炉工場の高能率生産の出来る方式をそのまま受けついたのである。然しながら個々の作業内容には相当の変更がなされている。

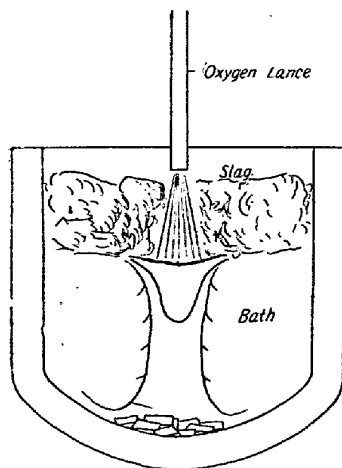


Fig. 3. Sketch illustrating the oxygen blowing in the converter.

先ず第1に炉の吹方は Fig. 3 に見る通り従来の転炉が羽口のついた炉底孔を用うるのに比べ、かかる炉底を止めて水冷の lance で上方から酸素を吹くと云う根本的な変化を行つた。従つて従来の転炉の送風管理に対する

ものとして lance による高圧酸素吹込の条件を合理的に調整する新しい仕事が登場しており、これは上吹転炉精錬の良否を左右すべき重要な作業となつている。今迄の30~40 t 炉では大体酸素の圧力は 8~12 kg/cm²間に在り lance 先端と鋼浴上面間の距離は 600~1000 mm 間に適当に調節するのが普通であるが、勿論これは熔銑成分その他に影響される。

吹錬の様相は筆者の Donawitz 工場の見学経験からも明らかであるが一見甚だ静かであつて、この方法の特徴となつているが焰の様相は底吹酸素富化法とよく似ている。吹錬中の温度鑑定、最終精錬終了期の判定も底吹転炉と同じく焰及び汲取鋼試料を基として行う。又吹錬中の温度調節も適当に鉄鉱石、石灰石等を吹錬しつつ適当のシュートから炉内に投入して行う。

適当なる成分範囲迄精錬が終つた後は鋼滓を排出後本法の特質として少量の脱酸剤を添加し又目的によつては加炭操作をした後出鋼する。

造塊方法として特に変つた事はないが上吹法では他の何れの転炉法とも異り、鋼質を害することなく約 30°C 位の高温出鋼が可能のため造塊性は相当に良い事が特徴となつており、従つて鋼塊の肌が良く、圧延に際して鋼塊並にピレット等の表面手入の必要が相当少いことが認められている。

上吹転炉の築炉修理方法は大体底吹炉と同じであるが炉底取替作業が無くなつたため炉修管理は、非常に簡単になつている。勿論複雑な工程を取る炉底製作作業並にこれに要する設備も不要である。又一度使用した炉が原則として最終炉修に至る迄連続して使える事は炉の寿命にも良い影響を及ぼし精錬作業の安定の点からも望ましいことである。

窯瓦積の内容は例えば Linz の例では Fig. 5 の通り

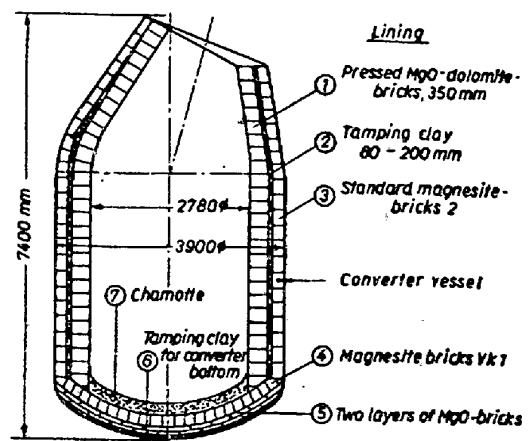


Fig. 5. Section through 30 tons converter (Linz)

炉体最外部にマグネシア煉瓦による永久裏付を行い、その最内側に高圧でプレス成形した煉瓦を積みこれと永久裏付の間はドロマイトでスタンプを行うと云う Thomas 炉と殆ど同じ方式を採用している。

炉修耐火物としては成る可く膨脹収縮の少い又耐スポーリング性の高いものが適当である事は Thomas 炉の永年の経験からも明らかであり、ドロマイト又はこれを base としこれに MgO を配合した様なものが用いられる。日本鋼管に於ける小規模実験の結果はマグネシア系のものより寧ろドロマイトによる裏付が良好な成績を取めた。Donawitz では裏付にタールを配合した焼成のマグネシア煉瓦を単味で用いているが、之は勿論 Austria 産マグネシアの良好な性質によつて初めて成功しているものと思われる。炉裏付の寿命は Linz の発表では操業の安定と共に 200 回以上、250 回に及んでおり Donawitz も平均 250 回前後、最高は 400 回以上に達しており耐火物の消費量は夫々、5 kg/t、8~11 kg/t 位となつている。

上吹転炉の吹錬時間は 30~40t 炉で大体 20 分前後であり普通トーマス炉とほぼ同じであるが、勿論酸素富化底吹炉の 13~14 分 (40t 炉) より長い。然るに上吹法では炉底取替の為の予備炉を必要とせず、炉修に対する予備炉のみが必要であるから 1 基連続で作業を続ける最少単位の工場を考へても底吹法では 3 基を要するのに対し上吹法では 2 基で足りる。従つて整備 1 基当りの生産能力は上吹でも底吹でもほぼ同じであるとしてよい。

製鋼時間としては勿論、吹錬時間の他に鋼滓排出、出鋼、溶銑及び屑鉄の装入其他の時間が入る。この中、屑鉄装入は主に吹錬開始前に炉に装入して置かねばならぬ為その時間の延長は全体の製鋼時間、引いては生産能率に影響する。即ち屑鉄の形状とその装入装置は生産に対し軽視出来ない因子である。Fig. 4 は DOFASCO (Hamilton, Canada) の例を示すもので 40t 炉の理想的な製鋼時間 34 分に対し実際には屑鉄の悪化の為にこれが 45 分に延長している事が判る。Donawitz 工場は主に重い分塊屑を用いており、筆者訪問時の製鋼時間は 32 分前後となつていた。

かくの如く、上吹転炉は底吹酸素富化転炉とほぼ同じ生産能力を有し従つて、勿論平炉よりは高能率の生産性を有する。Canada の実績では 40t 炉 2 基を有する上吹転炉工場は 250 t 炉 4 基を有する平炉工場の能力に匹敵すると考えられている²⁵⁾。

更に上吹転炉では従来の転炉と同じく鋼塊の生産が大

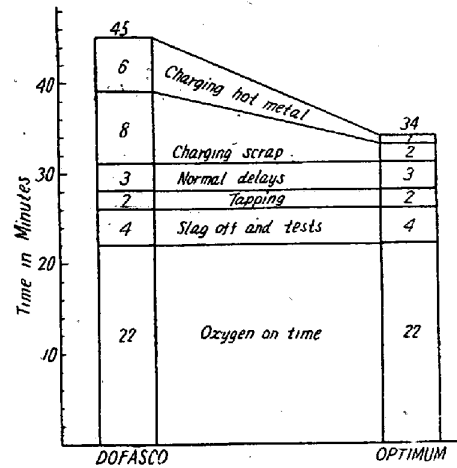


Fig. 4. Comparison of oxygen steelmaking vessel cycle for present Dofasco shop with optimum possible with added facilities and heavy scrap.

型平炉と異り小量宛規則正しく庄延工場へ流れるので均熱炉の容量は合理的な小さいもので済むと云う利点があり、所謂 production rythm が規則正しい点で庄延工場の要求によく順応出来るのである。又この事は連続製造法を採用する様な場合にも非常に好ましい条件である。

III. 上吹転炉工場の設備

i) 炉体および其の附属設備

上吹転炉の炉体は従来の転炉とほぼ同じであつて、Fig. 5, Fig. 6) 鋼板製の梨形炉体で構成されている。炉体鋼板の厚さは 30 t 炉で約 2" であり、昔の鋳打構造より脱して全溶接製炉体が主に用いられる。煉瓦積後の炉体内容積は装入 t 当り底吹炉より小さく、又当然のことながら羽口炉底の取付及び送風関係の機構を有せず炉体下部は単なる半球状に仕上げられた特徴ある形をなしている。DEMAG-DONAWITZ の設計では炉修時の

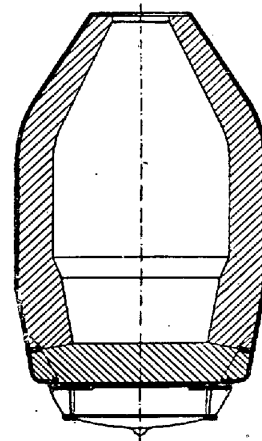


Fig. 6. Section through 30 tons converter (Donawitz)

放冷及び燻瓦積に便利なよう、炉体下部が取外しの出来るよう特別の工夫をしている。

炉口の形は今迄の所 Eccentric Mouth Type のもの (Fig. 5) と Concentric Mouth Type のもの (Fig. 6) の双方が使用されている。然し Eccentric といえども酸素吹込用ランスを炉の中央部に垂直に入れる関係から大体 Concentric に近い形となつている。両者の型の優劣は俄かに決する事は出来ないが、Eccentric のものは炉高が高くなり炉口も大きくなる反面排出ガスの誘導に便利な構造であり、Concentric のものはガスの誘導に不便はあるが炉高炉口共に小さくなり又左右対称の炉であるため出鋼をどちらの側に行つても長く、築炉も簡単であると云う利点がある。

上吹転炉の炉体容量は近年底吹型転炉が次第に大型化に成功したため比較的大型の炉から出発した。即ちLinz, Donawitz は各 30 t 炉を備え McLouth, Hamilton は夫々 40, 45 t である。最近 U. S. では更に大容量の炉が計画されていると聞く。炉容の決定は勿論生産量、相手とする高炉の容量に関係するが大型の方が勿論有利であり上吹炉の成功と共に将来炉容は益々増大する傾向がある。

炉体の傾動は電動モーター駆動で充分であると云われている。即ち従来の Thomas 炉では炉底取替、炉口附着地金取の作業に強力な炉体の廻転力を利用するため、専ら水圧駆動式の廻転装置を用いたが、上吹転炉ではその様な必要が少く電動式でよい。但し、Linz, Donawitz では最初の操業であつたため水圧を用い、後 Canada の Hamilton 工場が初めて電動式を採用した。今後は電動に統一されよう。勿論電動方式は水圧方式よりも設備が簡単であり管理も楽である。送酸用ランスは鋼管製で水冷のため三重パイプ式構造となつている。ランスの先端に取付ける nozzle は水冷効果を充分ならしめるため銅製である。nozzle 自体の設計は酸素の流量、噴出速度、拡散角度に応じて変更するが、又外形は鋼滓の附着が少くなる様な Profile とするのが普通である。羽口の寿命は使用に特に誤がなければ 1000 チャージに及ぶと云われ、又破損の場合もすぐ予備ランスと取替えられる様にしてある。

ランスの長さは 30 t 炉で少く共 8~10 m には達するのでこれを炉体上方に引抜いた場合の head が必要となる。従つて上吹工場はこの点を考えて炉の上方の建屋を相当に高く取り此処に併せて排ガス誘導用の煙突を備える様にしてある。この煙突 (カミン) は底吹炉よりも勿論小規模であり後述の収塵装置の設置と關聯して設計

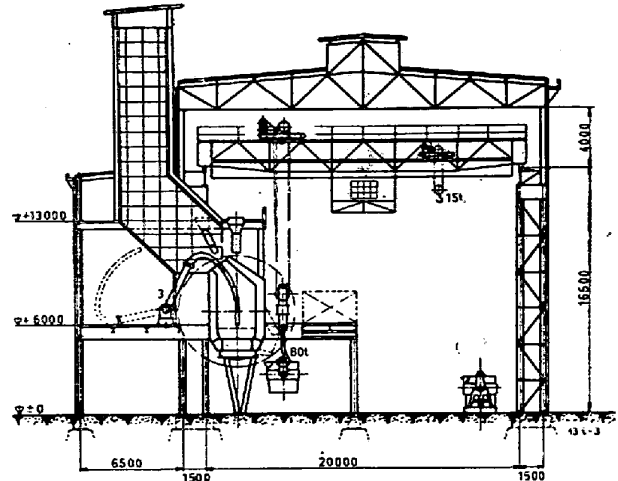


Fig. 7. Oxygen steel plant with swing type lance.

されねばならない。DEMAG ではランス昇降用 head の充分取れぬ様な Thomas 工場を上吹工場に改造する場合として Fig. 7 の様な彎曲式のランス装置を考案している。ランスの昇降は之に結びつけた鋼索を電動機で捲上げる機構によつて行い其の操作は炉前で自動的に行う。又炉体の傾動とランス昇降の各動作相互の關係は、Interlock して安全に行う様にする。

酸素吹込の操作は矢張り炉前で自動操作によつて行われ酸素流量、圧力、並に冷却水の量、温度の管理が自動的に行われる様設備する。ランスの冷却水は Donawitz の例では約 800 l/分 となつている。

屑鉄の装入は大型の装入箱に大量の屑鉄を入れこれを炉口にかかげ炉を傾動すると共に装入箱を捲上げて屑鉄を炉内に流し込むという比較的簡単な方法で行うのが普通であつて未だ特別の装置は出現していない。吹錬の初め及び吹錬中に石灰、石灰石、鉄鉍石を装入する方法は通常の転炉と同じく、適當のシュートを通して行方が最近では自動的に装入量を秤量し、炉前からの操作で装入出来る様な完全自動装置が種々出現している。

ii) 酸素設備

高純度の酸素を用うる事は上吹法の原理から見て最も大切なことである。Austriaにおける初期の実験乃至操業の場合には純度98%程度の酸素が用られたがその後の綿密な研究の結果 98% 以上酸素の純度を上げるに従つて素鋼中のNは一層甚しく下る事がわかつたので²⁹⁾現在では99.5%以上の酸素を用うる事が大体の常識となつており設備すべき酸素発生機もその様な能力のものが要求されるに至つた。この様な高純度の酸素を発生する発生機は従来はHyland型のものが多かつたが最近では Kapitzer type の全低圧で高能率膨脹タービンを備えかつ

蓄冷器で管式熱交換を行う type のものが有利に用いられている。

上吹転炉の酸素使用量は溶銑中の不純分を酸化するに要する理論値に近いものが必要で酸素の使用効率は95%以上に達する。従つて酸素使用量は主として溶銑成分によつて支配され Linz, Donawitz では $53\sim 60\text{Nm}^3/\text{t}$ となつており³⁰⁾又この外に新炉体昇熱用並に炉口附着地金の除去用に更に $2\sim 3\text{Nm}^3/\text{t}$ の酸素を要している。

従つて上吹工場用の酸素発生機の容量は炉容、並に基数から予定される生産量に依り又溶銑成分等を考慮の上決定しなければならない。今迄の例では大体 40t 炉2基の上吹工場に対し $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 位の発生機を取付けるのが普通のものである。

酸素発生機以後炉前に至る迄の間には酸素タンク、酸素圧縮機、蓄圧器及び減圧弁等一連の送酸系統装置が必要である。これ等各機器の容量は炉容、炉の基数、生産のピッチ等によるが、何れにしても炉前で要する酸素の圧力は $8\sim 12\text{kg}/\text{cm}^2$ 位なので酸素圧縮機、蓄圧器内の圧力は普通 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 位に取り、これを減圧弁で適当に落すようにしている。

これ等酸素設備は上吹転炉の原動力であつて底吹転炉の送風並びに送酸設備に相当するものである。これ等に要する energy は Donawitz の例では大体 $0.25\times 10^6\text{kgCal}$ で平炉の場合の $1/4$ で済むと発表されている³¹⁾。

iii) 廃気中の粉塵除去設備

転炉に限らず平炉、電気炉においても直接に精錬の為に酸素を使用すると酸素と鋼浴の接触点で高温のはげしい酸化反応が起るため何れも特色のある赤褐色の粉塵を発生する。上吹転炉の場合は廃気中に含まれる粉塵の90%以上は Fe_2O_3 から成り他に若干の CaO , MnO , SiO_2 等が含まれている。その量は良塊 t 当り平均 10kg 前後であり底吹酸素富化法の場合の約半量となつている³²⁾。粉塵の粒度は甚しく細くその大部分は 1 ミクロン以下でありその中の $20\sim 30\%$ は $30\sim 100$ ミリミクロンと云う可視光線の波長以下のサイズである。この様な細い粉塵が吹錬中に Fig. 8 の様な時間的割合で発生する。これを除去する事は技術的には非常に難しい仕事で上吹転炉の操業開始以来 Linz 並びに Donawitz の工場非常に多くの実験が行われた。その結果乾式で機械的に取る方法は失敗し、目下有望と思われるのは Dr. Baum 考案の特殊の Venturi scrubber 収塵機及び特殊の電気収塵式のものである。前者は既に Canada の Hamilton 工場操業中であり (Fig. 9) 後者は Donawitz の工場に取付中である。両者の優劣は目下の処俄には決し難く、

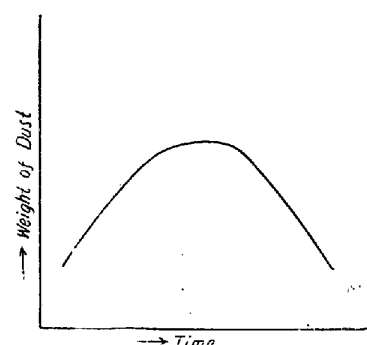


Fig. 8. Dust evolution curve of oxygen steel making process.

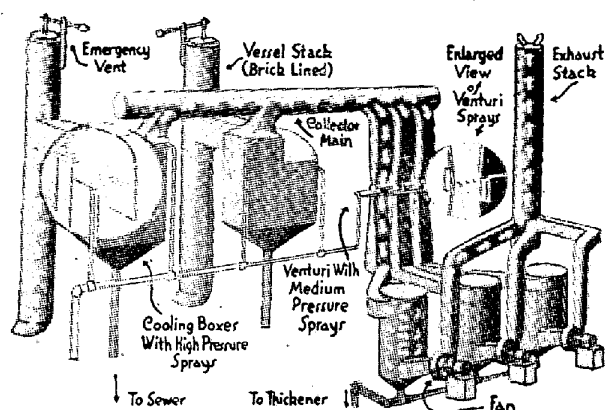


Fig. 9. Venturi scrubber type dust collector system (Hamilton)

今後の操業成績に俟つしかならう。収塵機設計の困難は又転炉炉口より出る 1700°C 以上に達する廃気を主収塵機に導く迄に如何にして冷却するかにもあり、cooler もしくは予熱 boiler を介在させる方式と炉口よりのガスの誘導口で捲込空気を大量にまぜて冷却する方式とがある。勿論之によつて煙突の設計、収塵機の大きさも変つて来る。除去した粉塵は目下の処ペンキ材料、焼結原料等にする他特別の用途は未だ見出されていない。

要するに収塵関係の設備並びに技術は上吹転炉の操業完成後に研究が開始され未だ未完成の感がある。然し今後の研究により廃気中の熱の回収、廃気並びに粉塵の有用な利用に成功すれば収塵関係の設備は寧ろ回収設備として上吹転炉に欠くべからざる装置とならう。

iv) 工場の一設配置

上吹転炉工場は同容量の平炉工場よりも勿論小さく、又設置炉数の少い点で従来の転炉工場よりも小さくて済む訳であるが大差はない。建屋の特徴は炉の附近の建屋がランス昇降用のヘッドを要するため少々高くしなければならぬ事である。又屑鉄の処理場、酸素工場等にも別途に考慮を払う必要がある。築炉上の設備も大体 Thomas 工場と同じであるが炉底製作用の機械は不要である。

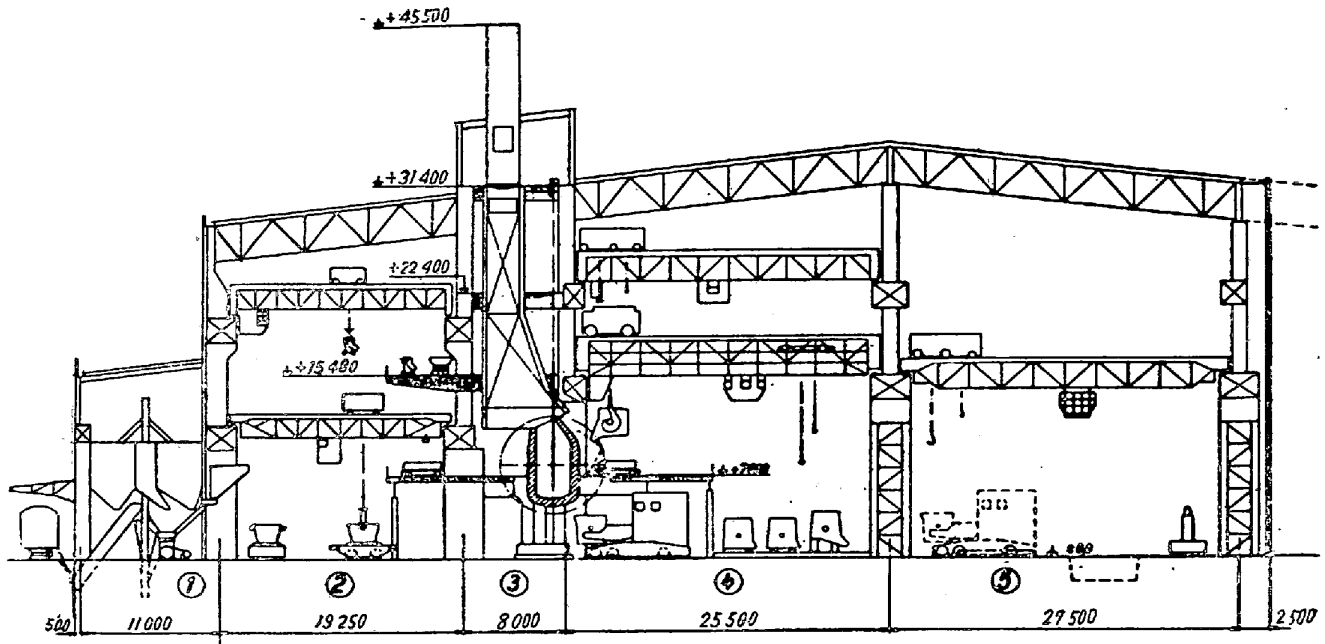


Fig. 10. Section through oxygen steel plant at Linz.

Donawitz の工場は焼成マグネシア煉瓦を購入して使うのでドロマイト工場を欠いている。Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 は夫々 Linz, Donawitz, Hamilton の各上吹工場の配置を示す。Linz は平炉工場の延長にその制約の下に上吹工場を建てたため特殊の配置となっている。Donawitz 及び Hamilton は上吹工場を独立して建てたので自由な設計となった。特に Donawitz では concentric 型の炉を用い炉を塊として装入側と出鋼造塊側とを反対側に配置した点が平炉工場に似た考えとなっている。Hamilton 工場は mixer を設けず約 100 t の容量の mixer car を用いているが転炉工場の原則として mixer を設置せぬことはどうしても作業の安定を欠く所以であると思われる。

造塊設備は上吹転炉の生産が規則的な production rythm を有するのに応じたものであるべきことから Donawitz 及び Hamilton では台車下注方法を採用して鋼塊の処理が狭い場所で連続的に、かつ速に行われるように工夫している。

IV. 上吹転炉法の冶金

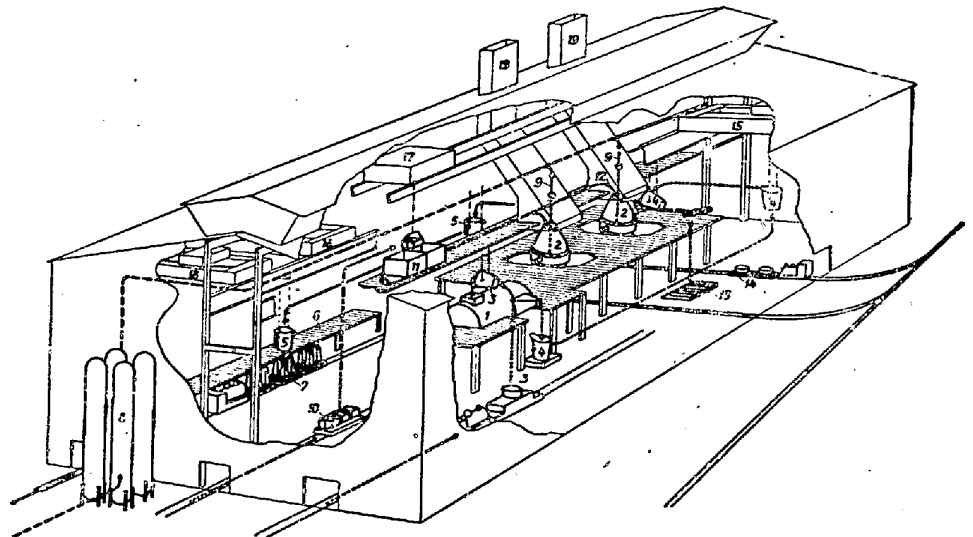


Fig. 11. Schematic sketch of oxygen steel plant at Donawitz.

i) 上吹転炉吹錬の特徴

元来鋼浴中に pipe を通して酸素其他の酸化力あるガスを吹込んで精錬を行う方法自体は別に新しい事ではなく既に Henry Bessemer 以来よく知られており近年の平炉及び電気炉に於ける Bessemerizing も同じ主旨のものである。然し、之等の方法に於いては何れも pipe を鋼浴内に突込み、比較的低压低速で酸素を吹込むので pipe の消耗は甚しく吹込量と速度にも制限があり、方法自体に耐久性と持続性がなく精錬の補助手段以上に出る事がなかつた。特に転炉の様に不純物の多い熔銑浴を主原料とする様な場合最後迄一貫して精力的に精錬を速に遂行する目的には不適當であつた。又酸素自体を鋼浴内

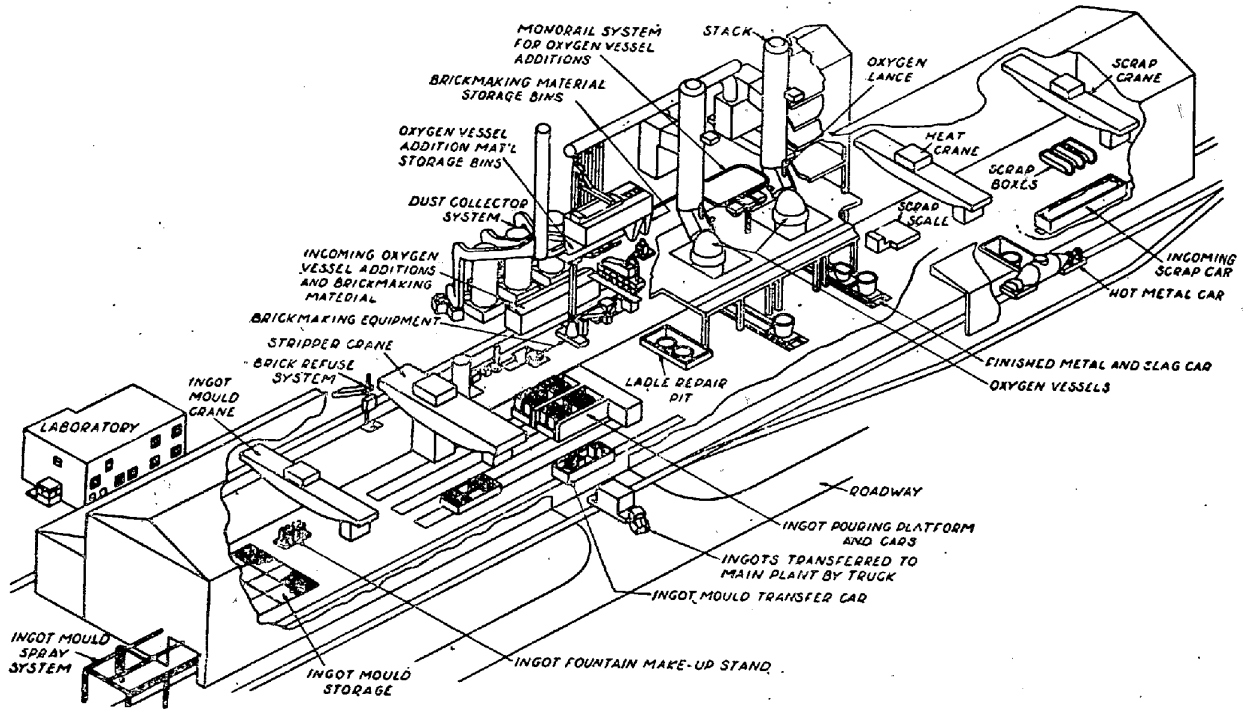


Fig. 12. Schematic sketch of oxygen steel plant at Hamilton.

深く吹込む事は結局鋼浴を過酸化に導く原因となりその様な方法には必ずしも良好な鋼質は得られぬ欠点がある。上吹転炉法はこの様な欠点を解決するために新しく展開された方法である。

即ち既に述べた通り上吹法に於いては純酸素を鋼浴のはるか上方から高速度の酸素流として鋼浴に当てこの衝突点で酸化精錬を行い対流浸透によつて鋼浴全体に反応を及ぼす事を特徴とする。従つて噴射すべき酸素流は鋼浴面を覆っている鋼滓の層を貫通するに足る高いエネルギーを持つていなければならない。上吹転炉法研究の初期に利用された C. V. Schwarz の theory はガス体を或る熔融金属浴に噴射させる時ガス流の速度を 1 mach 近くにすれば其のガスがあたかも固体であると同様の挙動で浴内に入つてゆくと言う事を規定したものである²⁰⁾。然し Austria における上吹法の発展は更に Schwarz の原理から発展し酸素の噴射条件に新しい規定を与え操業的にも鋼質的にも最良の結果が得られる様にし所謂今日、上吹転炉法として発展しつつある独特な技術の基礎を造つたのである。

酸素が鋼浴に衝突した所謂“火点”に於いては先ず鉄が燃えて酸化鉄を生じ之が浴中の不純物を酸化して精錬の進行が起る。この火点の温度は非常に高く 2000°C 以上にもなると云われ、従つてこの附近の石灰は発生した FeO の助をも借り直に溶解して反応性の良い、かつ流動性の良い鋼滓を造るので脱 P 並びに脱 S 等の塩基性

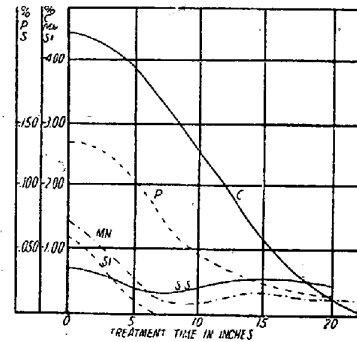


Fig. 13. Refining curves of oxygen steel making process.

鋼滓の存在の下に始めて進行する反応が精錬の初期から脱炭反応と同時に進行する。(Fig. 13) かかる反応機構のため平炉銑を対象とする上吹転炉法に於いては脱炭反応の完了前に容易に脱 P 及び脱 S 反応が完結する。この反応経過は平炉法のそれと同じであり底吹転炉法に於いては特殊の方策を構ぜぬ限りかかる好結果は得られない。然し上吹転炉法に於いても平炉法と同じく原料銑中の P が著しく高い場合は脱炭と脱 P の同時終結は次第に困難となる。Mannesmann, August Thyssen においては P 1.8% の Thomas 銑の上吹が研究され鉄鉱石の大量使用と酸素吹込速度の制御によつてかかる高 P 銑でも脱 P を脱炭と同時に完了する事に成功した。然しながらその方法は吹錬に長時間を要するため未だ操業として完成するに至っていない。最近の研究によれば熔銑中の

P0.5% 程度迄の場合は上吹法で低P鋼を造る事は容易となつており更に1.0%, 1.5% Pの銑鉄に対する研究が行われた³³⁾。今後上吹法で取扱い得る銑鉄中のPの範囲は益々増大しよう。

純酸素のみを精錬剤として使用する上吹転炉法に於いて低窒素鋼が得られ易い事は当然である。更に初め熔銑中に含まれる窒素は平炉法に於ける oreing と同じく活発な脱炭反応によつて起る boiling の効果によつて吹錬進行と共に下つて行く。勿論炉内に捲込まれる空気中のNが鋼浴と多少は接触する機会があり高過ぎる鋼浴温度はN吸収を促進するがその程度は底吹法の時に比べ極めて少い。吹込む酸素の純度と鋼中のN含量との間の関係については Linz, Hamilton で発表されている通り酸素の純度は高い程良く 99.5% 純度で 0.0025% N となるに対し 99.2% では 0.0035% N なる結果を得た。このため最近では 99.5% 以上の酸素を用い平炉鋼よりも低Nの鋼を得ようとしている事は既にのべた。

鋼中の酸素含量が非常に少くなる事も上吹転炉法の特徴となつている。その原因は脱P脱S等の反応が早期に起り著しくCが下らぬ中に之が完了するので精錬の最終迄COの発生を伴う脱炭反応が続きCOによる鋼浴の自動的脱酸効果が生ずる事及び流動性の良い高温の鋼滓からMnが鋼中へ良く還元される事及び鋼浴中深く酸素流が吹込まれぬ様な吹錬法である事等である。Donawitzの経験によればC含量の同じ平炉鋼と比較して少くとも同等若しくはそれより少い酸素含量となつておる。この様な訳で上吹転炉鋼を造る場合には實際的に脱酸剤の使用量は非常に少くて足りており、又リムド鋼の鋼塊偏析も少く非金属介在物も非常に少い事が証明されている。

ii) 鋼滓及びその調整

平炉銑を対象とした場合の上吹転炉の鋼滓量は12~15%となつている。主媒熔剤たる石灰の使用量は勿論銑鉄成分によるがLinz及びDonawitzの実績では50~70kg/tとなつている。その他、石灰石、鉄鉱石、ミルスケール等が造滓の促進温度の調節に若干使用されるのが普通である。石灰の形状は拳大たる事をよしとしており大塊及び粉状のものは避けねばならない。鋼滓量は上吹法の原理から云つて勿論少いに越した事はなく最高は18%位迄と云われている。鋼滓成分はTable 1の如きものでTFeは、鋼滓量少く又製出鋼のPが低い割に低い値を示しており、平炉の場合よりも少い。

iii) 上吹転炉法の熱平衡

梨型の炉体を用うる転炉法は元來熱効率の良いもので

Table 1. Slag Composition of oxygen steel-making process.

	Linz	Hamilton	Donawitz
SiO ₂ %	12~17	17	12~20
CaO	38~44	50	27~40
MgO	5~10	3.0	3~7
Mn	9~12	(MnO)8	11~18
P ₂ O ₅	1.2~1.8	1.2	0.6~1.5
TFe	12~17	(FeO)16	10~15

Table 2. Heat balance of oxygen steel making process at Linz.

Pig iron kg/t steel 930
Scrap kg/t steel 200
Combustion of iron components in kg/100kg pig iron
C.....4.2, Si.....0.8, Mn.....1.9, P.....0.13

Heat input	Kcal 10 ³	%
Combustion heat	222	44.3
Heat for slag development	14	2.7
Heat capacity of pig iron	264	53.0
Total	500	100.0
Heat output	Kcal 10 ³	%
Heat capacity of steel	360	72.1
Heat capacity of slag	56	11.1
Heat capacity of dust	6	1.15
Heat capacity of waste gas	38	7.5
Heating of oxygen up to reaction temperature	2	0.4
Losses of cooling water	6	1.1
Others	32	6.5
Total	500	100

ある。即ち普通底吹転炉でも熱効率は50~55%に及ぶが上吹法は純酸素を使うため更に良好となりLinzの発表では72%となつている。Table 2はLinzの試験用15t上吹転炉の熱平衡を示す。この様に熱効率の良い方法であるため溶解出来る屑鉄の量も相当に多く15~30%に及び之は又銑鉄中のSi%によつて上下する。(Fig. 14)元來平炉銑はHambornに於ける実験³³⁾の結果普通底吹炉では取扱難いものとされていたが、上吹転炉では更に化学的熱源の少いSturzerbergerの銑鉄(Si含量0.02%)のようなものでも差支えなく吹錬出来ると考え

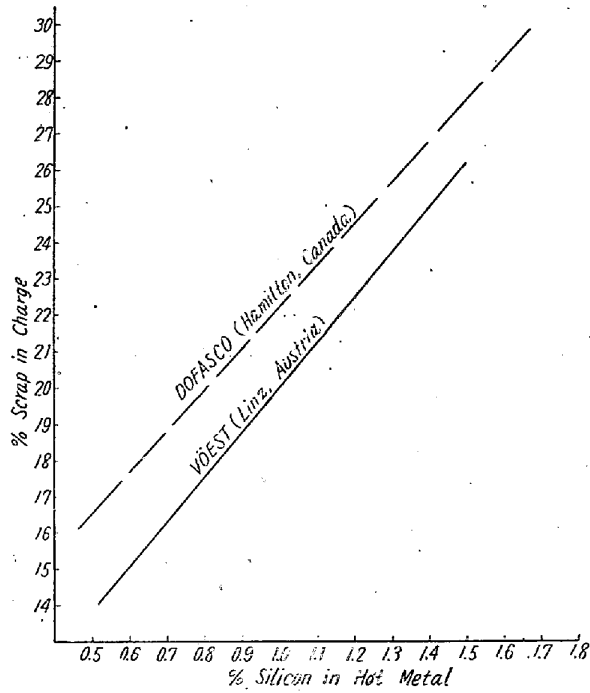


Fig. 14. Relation between percentage of scrap in charge to the percentage of silicon in the hot metal.

られている。

このように今迄の転炉法では取扱いの出来難かつた銑鉄を充分取扱いうる事は、これ迄見捨てられていた種々な鉄鉱石から新しい方法で銑鉄を造り、之を製鋼し得る可能性を生じたもので将来銑鋼一貫方式に新展開をもたらすことであろう。

V. 上吹転炉鋼の鋼質並に用途

上吹転炉法の最大の特徴は、これによつて極めて優秀な品質の鋼が製造出来ることである。既述の通り転炉鋼の改良目標は N, P, O 含量を平炉鋼程度に下げる事であるが、之に対し上吹法ではその方法自体にこの目的を容易に達成すべき充分な要因が含まれている事は前節で述べた通りである。即ち N は純酸素の使用によつて低くなり、P S は平炉法に等しい反応経過によつて除かれ又 O は吹錬機構の特色によつて高くなると云う風に有害元素に対する対策は徹底的に樹立され且その管理方法も単純で安定性の良い事が保証されている。Linz 及び Hamilton の各工場の実績によれば上吹転炉鋼の化学成分の頻度は Fig. 15 及び Fig. 16 の通りで之迄の如何なる転炉法よりも平均値が低く且各成分の分布は狭い範囲に落ち着いており、良い製品が安定して得られておる実績が証明されている。

上吹鋼の性質に関してはこれ迄実験室的並びに実際使

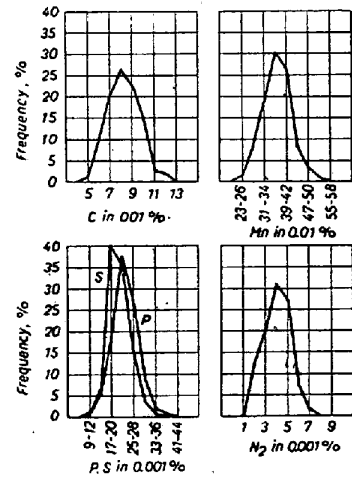


Fig. 15. Frequency curves of chemical composition of rimming L-D-steels of drawing quality.

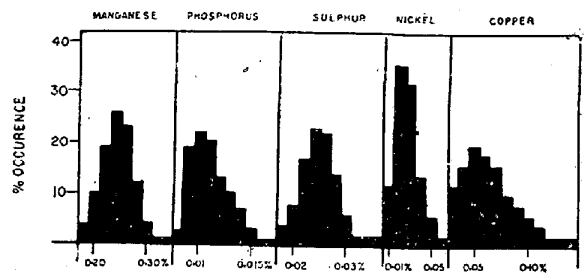


Fig. 16. Histogram of residual elements occurring in 100 heats of oxygen steel making process at Hamilton.

用面での検討が数多く発表されているが、その結果は異口同音に上吹鋼の優秀性が唱えられており、その鋼質は少くとも平炉鋼と同等か又或る使用範囲に於いてはそれ以上であるとしている。

上吹鋼の工学的性質に就いては既に Hautmann³⁵⁾³⁶⁾ (Linz) 並びに Kühnelt³⁷⁾ (Donawitz) の詳細且完全な研究結果が発表されている。即ち Hautmann によれば上吹転炉法によつて厚さ 30mm 迄の時効に安定なリムド鋼を非常に高い冷却速度を利用することなく製造出来、リムド及び Al キルド上吹鋼の脆性破壊確実性は極めて著しい。又上吹鋼は降伏点高く又純粋であるため熔接性は非常に良く且冷間加工作業に適している。又上吹鋼には造船用鋼、ボイラー用鋼の承認を受けるに障害となる様な欠点は全く認められない。更の上吹鋼は耐蝕性電気抵抗及び熔接の際の硬化等の挙動に関して平炉鋼と等価値である等の結論を出している。Kühnelt は又上吹鋼の深絞り性、時効、鍛接性について数多い好結果を得た上、上吹鋼は高級調質鋼、肌焼鋼の要求に適し又軌条材としても衝撃彎曲試験、疲労試験に於いて平炉鋼と等価

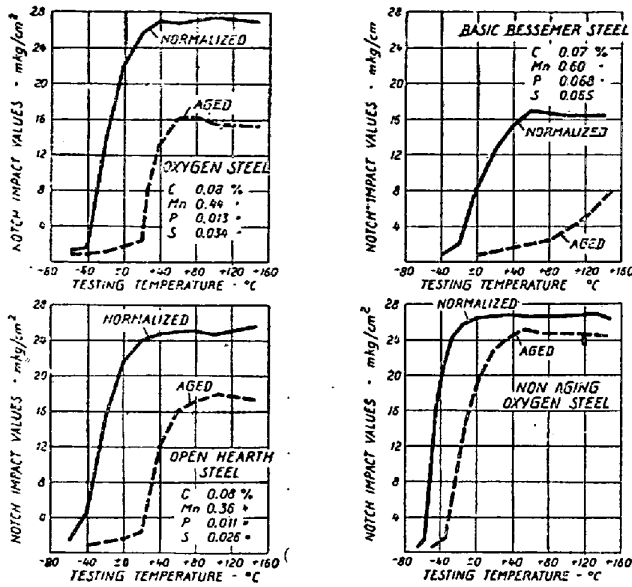


Fig. 17. Susceptibility to aging of steels originating from different processes.

値たる事を証明した。これ等の好結果の一例としてFig. 17に種々なる鋼種と比した上吹鋼の DVM 衝撃値の遷移温度曲線を示そう。

又之等の良好な試験結果を実証するものとしてTable 3に 1953 年度に於ける Austria Linz 並びに Donawitz の両工場に於ける上吹鋼生産合計 33 万トンの内訳を示す事とする。このように上吹鋼の用途は殆ど平炉で出来るすべての鋼種に及んでおり大体 C 0.60%以下のものなら何でも出来ると云われているが特に良好な性質を發揮するのは低炭素鋼の分野である。就中深絞用鋼板類、線材等冷間加工を要求する用途に対しては今後益々上吹鋼が利用されよう。またLinzの工場は既にLloyd

の造船用鋼材の認定試験に合格しており、その他更に各国の軌条規格、溶接構造用規格等に合格する形勢にある。即ち上吹鋼はこのような酷しい第三者的な規格審査に合格する事によりその価値が次第に authorize されつつある。

VI. 上吹転炉法の経済性

上吹転炉法が経済的に有利な第1の理由は工場建設費の安い事である。即ち建設費に於いては酸素工場を含めて同容量の平炉工場の 60% で足りると云われている。この点は従来の転炉と平炉の差をその儘受ついでいる。収塵設備に対する費用は上吹転炉の不利点であるが既述の通り収塵機に備える熱回収設備を考慮すればその金額は、さして高くない事となる。

上吹鋼製造に要する主原料費は平炉よりも稍々高いのが普通である。というのは平炉は安価な屑鉄を多く使用する事が出来るからである。然し銑鉄と屑鉄の価格差は国によつて異なるので俄に断定する事は出来ない。最近に於ける日本の状態の様には屑鉄が銑鉄よりも高価な場合では勿論上吹法は有利となる。

操業費は上吹法が平炉法よりも有利となる。その主なる差は燃料費、耐火物費、炉修費、人件費等の差によつて起るもので上吹転炉に於いては酸素費、石灰費が比較的高くつくにも拘はず結局上述の差によつて上吹法が安くなる。

アメリカに於いて計算された結果は Table 4 の通りであつて結局上吹鋼は平炉鋼より約4ドル安い事となつている。又平炉銑の比較的高価なドイツに於いても尚上吹鋼が平炉鋼より 7.5DM 安く出来ると発表された³⁵⁾。

Table 3. Break-down of 330,000 tons of oxygen steel produced in Austria, 1953

Donawitz production		Linz production	
Uses	%	Uses	%
Structural, bar, and rail mill products	39	Tin strip	26
Wire manufacture	36	Autobody sheets, cold rolled	11
Welding electrodes	1	Deep drawing sheets hot and cold rolled	19
Strip and sheet, hot and cold rolled	12	Galvanized sheets	6
Tube strip	5	Plates	10.5
Sundry uses	2	Bar and section mill products	26
		Commercial qualities	1.5

Table 4. Comparison of economics of oxygen steelmaking process and open hearth process.

I. Estimated construction costs

	450,000-ton annual capacity oxygen conver- ter	525,000-ton annual capacity open hearth
1. Buildings	\$ 900*000	5,700*000
2. Equipment	1,900*000	10,000*000
3. Utilities	2,600*000	1,600*000
4. Air pollution controll	1,500*000	1,500*000
5. Storage facilities	2,200*000	2,000*000
Total	9,100*000	20,800*000
Cost per annual ton	\$ 20*22	39*61

II. Burden and materials cost per ton steel

	Oxygen converter		Open hearth	
	Lb.per ton of steel	Cost	Lb.per ton of steel	Cost
Steel scrap at \$43*00 per gross ton	475	\$9*03	438	\$8*32
Hot metal at \$33*00 per net ton	1650	27*23	1465	24*17
Iron ore at \$ 14.00 per gross ton			380	2*38
Deoxidizers		0*75		1*20
Scale		0*40		0*60
Total		\$37*41		\$36*67

III. Operation costs (500,000 tons annual capacity)

	Oxygen converter	Open hearth
	\$	\$
1. Fuel (0*60 per M. M Btu)		1*98
2. Fluxes	1*17	0*50
3. Furnace refractories	0*30	0*70
4. Ladle refractories	0*15	0*15
5. Furnace repair	0*60	1*50
6. Molds and stools	0*65	0*65
7. Production labour	0*80	1*60
8. Maintenance labour and materials	0*42	0*70
9. Oxygen	1*00	0*20
10. Supplies tools and lubricants	0*16	0*20
11. Water steam and power	0*30	0*30
12. Yard switching	0*20	0*20
13. Slag disposal	0*30	0*30
14. Indirect labour	0*20	0*20
15. Employee benefits	0*30	0*30
16. General expense	0*40	0*40
Sub total	6*95	9*88
17. Fixed charges(at 12%)	2*42	4*75
Total	\$9*37	14*63

このような経済性の特徴は各国における上吹法の採用の大きな動機となつている。

VII. 製鋼法としての上吹転炉法の将来性

既述の説明により上吹転炉法の特徴は、ほぼ明らかとなつた。即ち上吹法は他の如何なる製鋼法よりも酸素を最も能率よく効果的に利用し尽した点で独特の効果収めることに成功したものである。本法の冶金的動機は Henry Bessemer の転炉法発明と共に出現したと云える程古いものであり其の着想自体は比較的素朴なものであるが、本法の実際的な成功は最新の物理学的研究即ち金属浴に対するガス体噴射の特殊条件を究明する事によつて達成された。又、本法の操業的成功は設備として能率の良い転炉工場の考えを適用し平炉法のそれと同じ反応経過を生ぜしめる事によつて鋼質の優秀性を保証した事による。然しながら上吹転炉法は今や新技術として操業的基礎を確立し得たばかりであり、今後解決すべき多くの問題を残している。即ち熔銑成分の範囲の問題、粉塵処理の問題、耐火物の問題等に対しては尙今後の発展が期待される。

現在に於いては製鋼法としての上吹法の価値は元來能率的、かつ、経済的に優れた能力を有つ転炉法で平炉銑を用い屑鉄に頼る事なく平炉鋼と等価値の鋼が生産出来ると云う点で決定される。これ等の製鋼条件が要求される地方での上吹法は非常な価値を生ずるが上吹法の普及は目下米国、カナダは勿論ブラジル、オーストラリア、独乙、印度等に及ぼうとしており、殆ど世界的の関心を集めるに至つた。

屑鉄対策に年々歳々多大の苦心を払う日本の鉄鋼界に対しても上吹法は充分検討に値する方法である事は言を俟たない。過去に於いて平炉法中心に発達し來つた我国も上吹法の出現により採るべき製鋼方式を再検討すべき機会が到來したものと思われる。元來平炉法は大量の屑鉄を用いてこそ経済的に有利な方法であるから差当り日本に於いては平炉と上吹転炉を共有する事により上吹法に銑鉄を多く用い平炉に対して屑鉄を集中して使う事が出来る態勢とし総合的に鋼塊原価の低下を狙う様にし且屑鉄と銑鉄の価格の変動に対しては両法の機動的な活用を計る事の出来る様にすべきであろう。

あとがき

本稿は筆者の上吹法に関する乏しい実験、実地見聞乃至数多く発表された上吹法の文献を基としてまとめたものであるが、元より浅学非才の身、判断に誤有らんこと

を恐れるものである。諸先輩各位のお叱声をお願いして
 欄筆する次第である。(昭和 31 年 1 月寄稿)

文 献

- 1) Karl Daeves u. A Ristow: Vertraulicher Bericht Nr. 9. Werkst. 512. (1940) 9.
- 2) W. Eilender u. R. Wasmutlo: Arch. 1929/30 S. 659: St. u. Eis. 50 (1930) S.632.
- 3) W. Bading: St. u. Eis. 13/14 (1947) S. 212: 66/67 (1947) S. 48.
- 4) W. Bading: St. u. Eis. 67 (1947) S. 212.
- 5) G. Naeser: Vertraulicher Bericht, Nr. 67 (1944)
- 6) R.R. Webster & H.T. Clark: Journal of Metals (1950) May, Vol. 133 No.5 p. 778.
- 7) C.E. Sims & F.L. Toy: Journal of Metals (1950) Vol 188. p. 694~709.
- 8) 欠番
- 9) Th. Kootz u. G. Gille: St. u. Eis. 68(1948) S. 287~94: 69 (1948) S. 303~9.
- 10) A. Brüninghaus: St. u. Eis. 45 (1925) S. 737~48.
- 11) J. Haag: St. u. Eis. 45 (1925) S. 235.
- 12) W. Dick: St. u. Eis. (1952) H-5 S. 233.
- 13) R. Gaef: St. u. Eis. (1951) H-23. S. 1191.
- 14) K. Mayer u. H. Knüppel: St. u. Eis. (1952) H-5 S. 225.
- 15) E. Warnant: St. u. Eis. (1950) S. 1077.
- 16) H. Kosmider u. P Hardt; St. u. Eis (1950) H-8. S. 303.
- 17) Th. Kootz: St. u. Eis. (1951) S. 581.
- 18) O. Lellep: Mexico. (1941)
- 19) W. Kondakow: Iswestija Akademii Nauk USSR, Otdelenije technitscheskich Nauk (1946) Nr. 10.
- 20) C. V. Schwarz: St. u. Eis. (1952) H-25 S. 1642.
- 21) H. Hellbrügge: St. u. Eis. (1950) H-26 S. 1206.
- 22) O. Cuscoleca: St. u. Eis. (1952) H-17 S. 989.
- 23) W. Geller u. A. Wilms: St. u. Eis. (1941) S. 337.
- 24) One Year LD-Refining Process, VOEST. (1954)
- 25) F. A. Springorum, K. G. Speith u. W. Oelsen: St. u. Eis. (1953) H-1. S.-6.
- 26) H. Rellermeyer u. Th. Kootz: St. u. Eis. (1954) H-7. S. 381.
- 27) O. Cuscoleca u. K. Rösner: Revue universelle Mines (1953) Series 9, 96, p. 668.
- 28) D. O. Davis: Iron & Steel Engineer. Oct (1955) p. 92.
- 29) D. O. Davis: Iron & Steel Engineer. Oct (1955) p. 98.
- 30) One Year Oxygen Refining Process. VOEST (1954) p.50.
- 31) O. Cuscoleca: Journal of Metals, July(1954) p. 817.
- 32) One Year Oxygen Refining Process. VOEST. (1954) p. 15.
- 33) O. Cuscoleca: St. u. Eis. (1953) H-1. S.21.
- 34) —31) 参照.
- 35) H. Hautmann: St. u. Eis. (1952) H-17. S. 1011.
- 36) H. Hautmann: One Year Oxygen Refining Process. VOEST (1954) p. 17.
- 37) W. Kühnelt: St. u. Eis. (1952) H-17. S. 1004.
- 38) E. Krebs u. R. Görden: St. u. Eis. (1953) H-17.