

— 特別講演 —



電弧炉における誘導攪拌の効果*

バーテイル ハノス**

Results Obtained with Inductive
Stirring in Arc Furnaces.

Beril Hanäs

鉄鋼協会会長ならびに皆様、有名な貴協会を訪問する機を得ましたことを光榮に存じます。どうか電弧炉における誘導攪拌についての本日の会合が、皆様のお役に立つことを祈ります。

熔けた金属を効果的に攪拌することの必要性は今世紀の始め以来知られており、各種の攪拌方法が論ぜられて来た。目的とする処は、もちろん湯の均一化

を計り、また化学反応を一層促進することである。

機械装置での攪拌は簡単なかきまぜ棒から炉全体を振つたり回転したりする複雑な設計にいたるまで相当数のものがすでに試みられている。ガスを湯に吹込んだり、reladling 法といつて湯全体を取鍋にあける方法もある。電気的な方法もまた開発され、今日においては ASEA の誘導攪拌装置は湯を最も完全に混合する最も重要な方法の一つと考えられている。

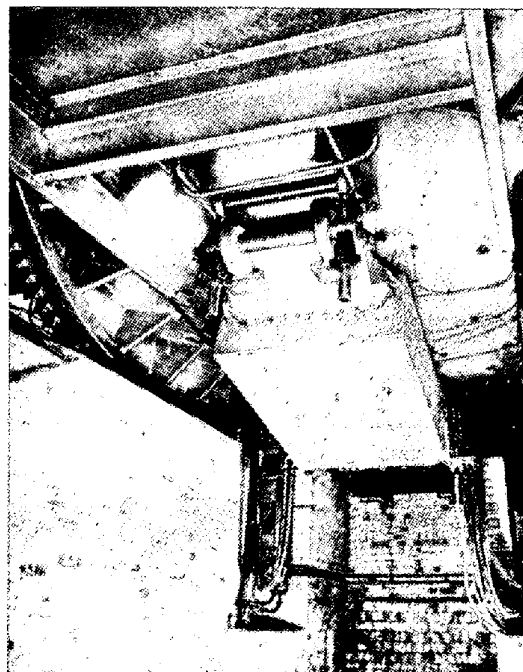
ASEA 社製攪拌装置およびその電気設備について簡単に説明の上、開発後 10 年間に世界各国で 10t から 150t にわたる各種の炉で使用して得た冶金学的な結果を主として、お話ししたい。

まず最初に映画を御覧に入れて、作動原理ならびにスウェーデンの Bofors 製鋼での新しい 50t 炉における攪拌の状況を見て載きたい。

作 動 原 理

スウェーデンの ASEA 社の Dreyfus 博士発明による誘導攪拌装置は原理的には電動機の大型スターターである。

それは弧光炉の炉底の下に取付けられ、炉底の板はオーステナイト鋼を使用する。熔湯それ自身がローターとして働き、籠型モーターのローター同様の原理の下に、2相のスターター捲線からの移動磁界によつて動かされる。したがつて湯を加速する力はほぼ定速度を以つて炉底に沿つて動く。その結果、ある一定のスターラーの電力に対しては適当な混合効果となる。

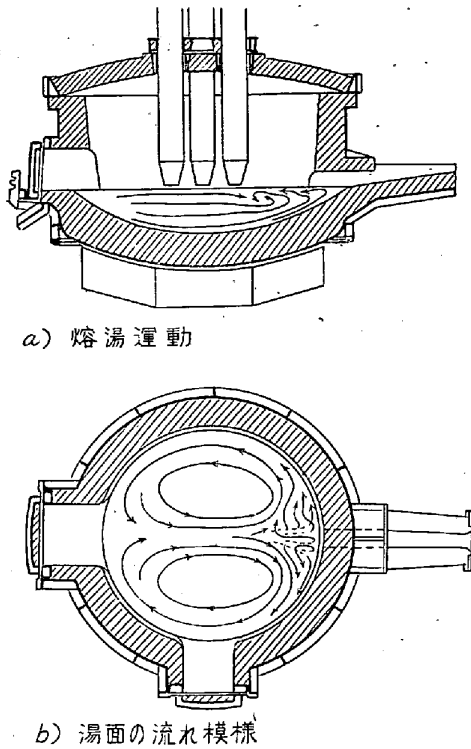


第1図 炉殻内径 580cm (19ft) の 60t 炉に取付けた ASEA の誘導攪拌装置、英国 Shceffield, Samuel Fox & Company Ltd 納、炉底右側に温度チェック用の測定点が見える。

炉底煉瓦の厚みを一定限度以下に保つことの重要性は言及の必要がある。スターラーは湯溜りから一定の距離に取付けるよう設計されており、そのため通常のしかも安全なライニングの厚みが取れるようになっている。こ

* 昭和 34 年 10 月 20 日 東京・京橋ブリジストンホールにおいて講演

** ASEA 社 (スウェーデン) 工業炉部



a) 熔湯運動

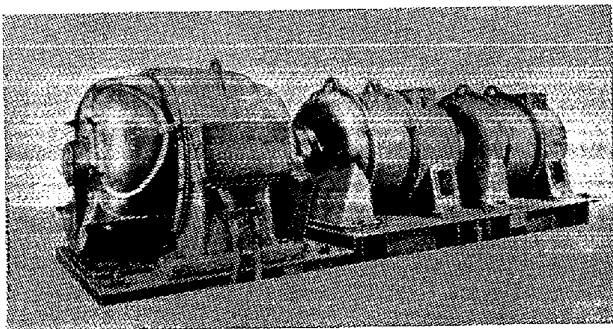
b) 湯面の流れ模様

第2図 誘導攪拌装置を取付けた電弧炉における湯の動きおよび湯面の流れ

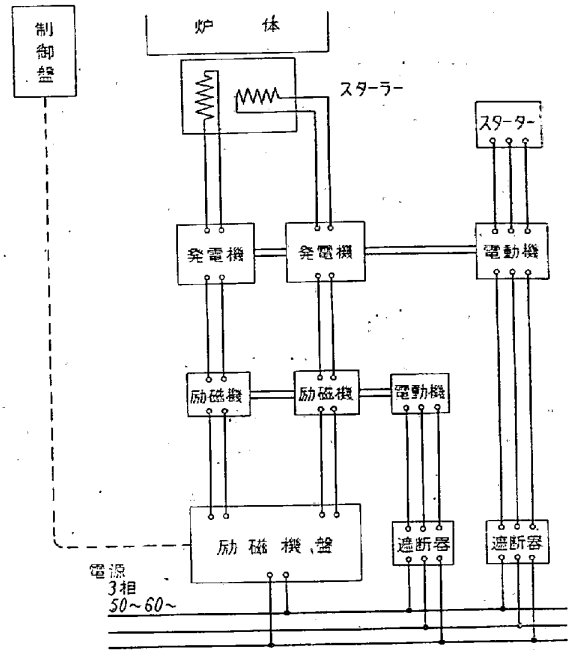
の距離を増すと攪拌力が目に見えて低下する。このことは今の距離が普通の電動機の空隙に相当することを考えれば簡単に納得出来る。

スターラー本体は2相に配置した水冷の銅捲線を持った積層磁性鉄心でできている。スターラーは第3図に示すメイン・コンバーターからの1サイクル位のごく低い周波数の電流を受ける。第4図の主回路図図示の通り各相コンバーターに各1基の発電機がついている。

この発電機は励磁機盤からインパルスを受けている小型回転機で励磁される。この盤には低周波の発生および制御用の特別な装置がついている。全装置は炉の近くの制御盤でコントロールされるが、その盤からは操炉者が押釦を使って攪拌力の大きさや方向を簡単に変えることができる。



第3図 ASEAスターラー用のコンバーターは誘導電動機1基と単相発電機2基とでできている



第4図 ASEAスターラー主回路図

冶金学的結果

緒言にいつた通り、湯を攪拌する主たる理由は湯を均等にし、化学反応を早めることである。この点についての ASEA スターラーについての十分な調査が 10 年前 15t および 10t 炉についてスウェーデンの Hagfors および Surahammar の製鋼工場で行なわれた。標準の 2 slag 法による製鋼に関する調査が良い結果を示し、1950 年 S. Fornander 氏および F. Nilsson 氏³⁾により発表された。後になつて Ohio 州 Canton における Timken Roller Bearing 社⁵⁾の製鋼工場における 90t 炉、France Hagondange の SAFE 製鋼工場の 30t 炉、およびドイツ、Duisburg の Mannesmann Hüttenwerken⁷⁾の 30t 炉の諸結果が発表された。今日の講演はこれらのデータに基づき、また他の製鋼工場の諸々の例から出たスターラーの利点の調査結果を基として話す。面白いことには Hagfors-Surahammar の最初の結果がつきからつきへと各所で実証された。もちろんスターラーの利点は地方の条件によつて異なり、また問題としている炉の形式にもよる。

一つの炉に余り問題にならないことも他の炉では大切なこともある。2基、3基と繰り返し発注されることは不良品の数の減少高価な合金元素の量の減少に依ることは注目し値する。他方最初の設備の収益性は操業時間の短縮に基づいて計算されても来た。以下の諸点が考えられる。

A 均 一 化

スターラーは炉底に沿って湯を加速する。そして側壁の処で方向を変え、他端に帰る時に非常に効果的な攪拌力を生ずる。(第2図参照) この結果は湯が均一化し全体の成分のコントロールを良くする。また添加元素の正確な計算および他の例でわかる通り温度の正確な測定が出来る。

a) 湯の成分の例

合金元素はスターラー付の炉で短時間内に熔解し、添果後しばらくで取ったサンプルが湯全体を代表する。したがって Fornander-Nilsson 氏³⁾の報告では Si および Mn に就いて表面および底のサンプルを取ると、スターラーを使用している時は添加後6分で実質的な差がないとのこと。かきまぜ棒で十分な攪拌を3回行った時は12分後でも差はなお大きかった。すなわち Si が 0.20 および 0.10%, Mn が 0.70 および 0.30%。全然攪拌をしないと差はさらに大きくなる。これらの3つの場合で最終分析は Si 0.20%, Mn 0.65%, 装入力約 15 t であった。

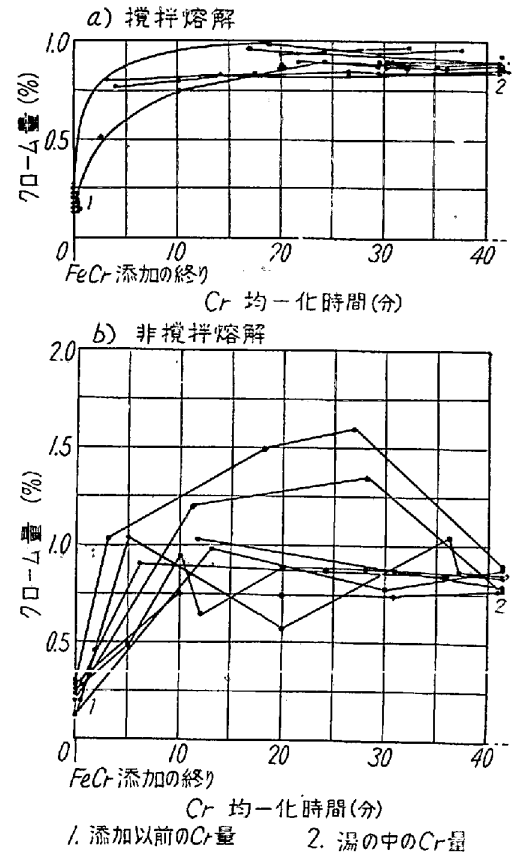
Timken³⁾では 90 t 炉の異った点で取ったサンプルでの差は FeSi 添加後5分で計算値の 0.01~0.02% の範囲に在った。

SAFE³⁾では 30 t 炉で約 0.9% の添加 Cr が 20 分以内に十分拡散したことを見出している。第5図に添加後 40 分間に一定間隔をおいて取った約 15 チャージの Cr 成分の例を示している。比較するとスターラーのない時に比べて成績はすばらしい。

この点で攪拌力の強さの影響を検討するのは面白いと思われる。Surahammar で信用出来る資料を得る標準時間は変圧器用珪素鋼板を製造する場合約 3% の Si 添加後 15 分である。しばらくの間、攪拌機の都合で攪拌力が減少した時、40分も待たねばならなかつた。

他の例としてスウェーデンの Hagfors における 400cm (13 ft) 内径 20 t 炉のものがある。ステンレス鋼溶製の際スターラーは Cr 添加の際 250A で操業した。30分および 50 分後に 2 回試料採取。この場合両者の試料の差が大きく 7% にも達した。湯の分析が最初の試料では未だ均一してなかつたことを示している。後に攪拌力が 500A 迄増加され、ために差が非常に小さくなり、第2の試料を待つ必要がないと判断された。結局操業時間が 20分短縮された。

スターラーの影響は勿論 FeMo とか FeW とかの熔融点高くかつ重い合金元素を添加した時はより一層顕著



第5図 SAFEにおけるCrの分布成績

となる。これらは炉の底にたまるために湯の温度が低い時に、スターラーを持っていない小型炉でも問題となる。

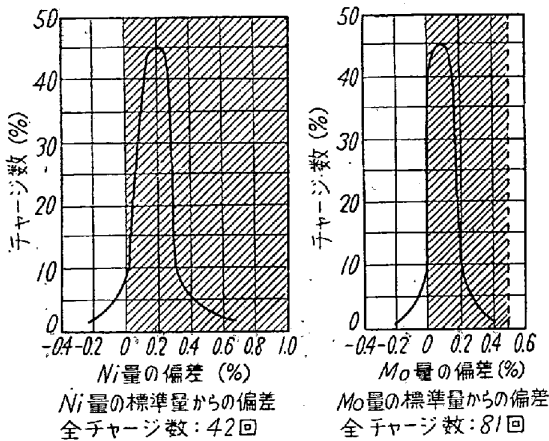
b) 添加物の計算

取った試料が全湯溜りの成分を代表するという事実は添加物の量をふつうより少ない巾をもつて計算できるので合金元素の節約になることを意味する。このことは大型炉で高合金鋼を作る場合最も重要だし、また高価な合金元素を使用する小型炉の経済問題ともなる。スターラーを持っている製鋼工場では持たない処よりも一層正確な成分をオーファーできることを意味する。非常に興味のあることは第6図, a, bにある。

Avesta で製造された Mo の入ったステンレス鋼(約 18% Cr, 10% Ni)のカーヴである。チャージの数が最終分析に対しプロットされている。カーヴは操炉者に対して与えられた低い方の限界値からの偏りを全チャージ数に対する%であらわしている。

c) 温度

温度は湯の全体にわたり均一化され、大型炉でも一点で計った温度が全部を代表する。(例 Timken 文献³⁾) Fornander-Nilsson 氏は小型炉で湯の上層と底の層の温度差を計ったがスターラーなしで 19°C, スターラー付では全くなかつた。



第6図 スターラー使用 Mo 含有ステンレス鋼の分析値の分布 (Avesta)
(影をつけた部分は分析合格範囲)

出鋼温度の中はごく小さい範囲に保ち得る。スターラーのない場合は表面が底よりも過熱されるが、スターラー付の場合はより低い測定温度で出鋼できるはずで、ある 60 t 炉は以前に、取鍋で 1615°C の温度を得るために 1650°C 付近で出鋼した。スターラーを使うと出鋼温度 1620°C でよい。湯が均一化していることはまた短時間に過熱が可能であることを意味する。というのは熱が高温の電弧部分から間断なく伝達されるからである。3,500kW で 10 t の湯を過熱する時に Fornander-Nilsson²⁾氏の測定ではスターラー使用で 26°C の温度差、止めた場合 102°C となっている。

E 化学反応

a) 酸化期

炭素の酸化はガス発生反応であり、沸騰そのものが非常に良い湯の混合をやるので、スターラーは本来の反応過程に影響を与えることができない。しかし温度を平均化させるためにスターラーは沸騰を早め、またほとんど同時に湯溜り全体が沸騰するのを助ける。特にとけ落後の C が少ないとか、鉍石使用の場合にそうである。

もし未だとけていない部分が残っている場合、炉の扉口から突然でしかも激しく沸騰し出したりするが、スターラーを溶解期の終り頃使うと、このことが起ることを減少させることができる。

特に low C が希望されている時、または沸騰が止つた時は、攪拌すると良い結果を与える。例えば Avesta では 0.02% C まで下げている。同じ炉でスターラーなしでは、これより多少 C が高い場合でも相当永びくかまたは吹精時間を長くする必要が起る。

攪拌をやるとカーバイド還元スラグから C を拾い上げやすくなる危険があるといわれている。この問題は

Timken 社で研究され、これによる C の吸収は少なく、C はスターラー付の方がない時より一層正確にコントロールできることがわかった。

スターラーの使用はまた磷の量を減らすことになる。しかしこのことは下に述べる通り除滓がやりやすくなることにおもに原因している。

b) 還元期

炉における多くの重要な製鋼反応は主として金属とスラグとの接触面、また一部は炉底と鋼との間で行なわれる。反応元素はこれらのゾーンの間をいきまして反応が可及的速かに化学平衡に達する。おのおの材料からこれらの反応場所への平均距離が比較的に大きいので、接触面における元素の拡散を早めるためには材料を動かすのが最もよい方法である。幸いにして、大抵の場合各種の付加的条件がある種の対流または攪拌を起している。このため拡散のおそいのを助けている。

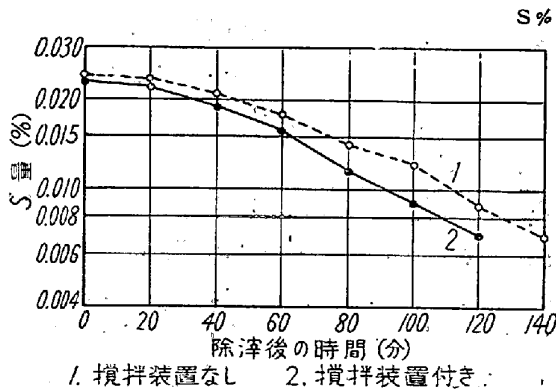
攪拌の効果は弧光炉における 2 slag 法の還元期の場合最も効果的である。湯溜りはその期間はそれ自身ではほとんど全く動かないので製鋼屋なら誰でも知つていように、これが特別な攪拌の方法を必要とさせる理由である。以前のように機械的な攪拌方法を採用する場合は有効度合が限られており、炉の深さも一定限度よりも浅く取られた。誘導攪拌の採用以来、この深さの限界も大巾に広げられその結果チャージの量を増すことによる生産量の増加となつた。一例として Avesta における 500 cm (17 ft) の炉の場合、湯溜り深さが 560 mm から 715 mm まで増加され、精錬時間を延長することなく、装入量が 30 t から 50 t になつた。

スターラーはスラグには直接に働きかけないが、スラグそのものも均一化することがわかつた。Timken では 600 cm (20 ft) 内径の炉で出滓口の直ぐのところのスラグを取つて全湯溜りのスラグの成分としている。同社ではまた還元スラグを作つたりまたそれをコントロールすることがより簡単になつたと考え、とけていない部分が非常に短時間になくなる事実を認めている。

c) 脱硫作用

誘導攪拌装置の使用は、それが脱硫に非常に役に立つことで利益を得て来た。この反応は slag の塩基度が高いこと、還元性であること、また反応面への拡散が良いことによるのである。これらの条件はスターラーなしでも達成されるが、スターラーの主な利点は硫黄が特に少ないことを必要とする場合である。このことに対する理由は、炉底の役目は脱硫程度が普通である限り大した

問題ではないということである。炉底は酸化期に FeO が喰い込んでいる。これが還元期に湯溜りに戻つて来てこのために脱硫作用を狂わすことになる。誘導攪拌装置を使うと還元された金属の非常な量が炉底に接触するため炉底の還元が割合に早く起る。この脱硫作用への防害物、すなわち炉底からの FeO が取除かれると低 S 値の要求が満足される。Fornander-Nilsson 氏⁹⁾の測定では、Hagfors で毎時当りの S の % で 0.006 から 0.009 までの脱硫の増加を示しており、これは約 25 分の節約を意味している。Surahammar で調査も第 7 図の通り同じ結果を与え、Timken 社⁵⁾も、操業時間を増加することなく S が非常に低い値 (0.005%) まで下げられることを確認している。スターラーなしでは 0.008~0.011 % 以下にすることはほとんど不可能であつた。このことはまた Surahammar の例でもわかる通り旧式の 7 t 炉における還元時間は 150 分であつた。今日のスターラー付の炉では 18 t 炉で 60 分しかかからなくて結果として 90 分の節約を意味している。



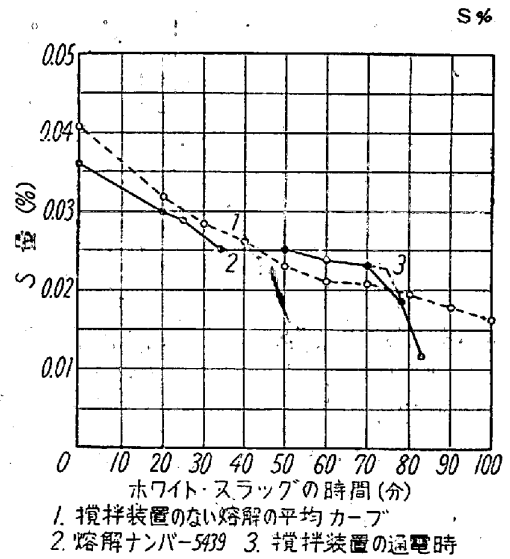
第 7 図 還元期の脱硫 (Surahammar)

SAFE⁶⁾ の発見ではスラッグ中の S と鋼との比が (C の % によつて) 17~20% 増加し、また面白い実験を行ない第 8 図にあるように S の一部分がなくなるまでスターラーのスイッチを入れなかつた。還元完了後の鋼浴の S 量は低くしかも平均レベルに保たれ、スターラーなしの時の 0.014% に比して平均 0.008% となつている。

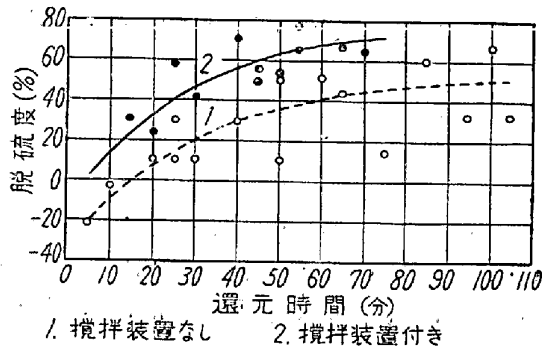
Mannesmann⁷⁾ でも脱硫が促進され、いろいろの湯の S 量がたがいに近づいていることを報告している。このことは精錬時間の減少、ある場合には 1 時間または以上 (第 9 図参照) を意味し、また希望分析値に達する精度が非常に上つたことを意味している。

d) 脱 酸

鋼の O 量はスターラーを還元期に使うとより早く減少し、最低値に達する。Fornander-Nilsson 氏⁹⁾が報告し、第 10 図にスターラー使用と使用しない場合の様子を示している。これらの値が非常に低いので分析法が問



第 8 図 スターラーを使つて脱硫が促進することを示す例。



第 9 図 還元時間の函数としてみた脱硫度 (Mannesmann)

題となつたが、スターラーを使う時と使わない時との関係は正しいと思われる。

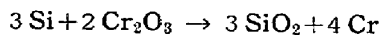
SAFE の調査ではスターラーをホワイト・スラッグの下で 80 分使つて同じような 0.001% O₂ を得た。スターラーなしでは 0.002% で、これは C=0.16% の場合で 7 および 6 回の湯の平均である。

酸素量えの目に見えた影響は例えば Timken⁵⁾ や Avesta でも観察されている。

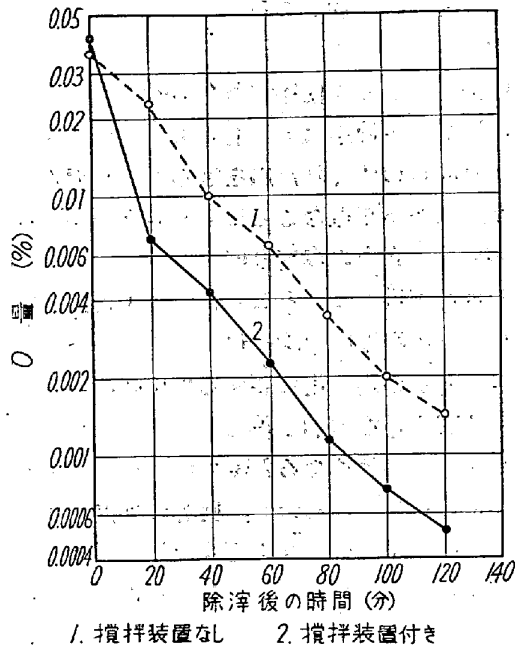
Mannesmann⁷⁾ もまた第 11 図に示す通りより低くまたより均等した値を得ている。

e) 酸化クロムの還元

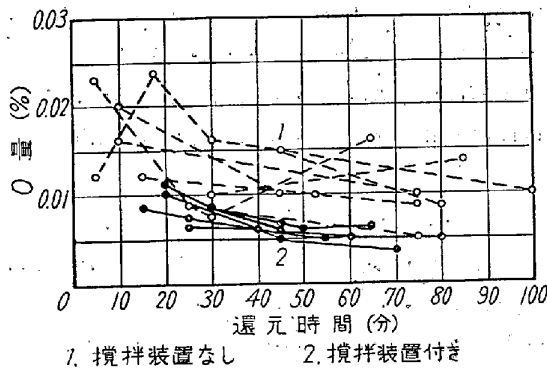
スクラップからステンレス鋼を製造する方法においてクロム量の 1/3 ばかりが酸素吹精の間に酸化され、FeSi を加えることによりスラッグから還元出来ることは周知の通りである。



攪拌がないと接触面での Si の concentration がちぎに低くなり、また Cr のそれが高くなつて還元量が非常



第 10 図 C = 0.15~0.24% の場合、還元期における脱酸 (Surahammar)



第 11 図 還元期における酸素量 (Mannesmann)

に低くなる。誘導攪拌の応用で非常に改善され、今日多くの製鋼会社では労力のいる取鍋法の代りに採用されている。この2方法を十分比較すると面白いが、データが今のところない。

C 除滓作業

湯の攪拌は第2図bに示す通り表面に運動を起させる。こうしてスラッグはしじゅうひきまわされ、それが特にはつきりと分るのは石灰の塊りが湯面に、または溶けたスラッグの上に投げ込まれた時、または流動性のあるスラッグが一部分残っている時である。

最も適当な攪拌方向を撰択することによって、操炉者は簡単にスラッグを扉の近辺に動かすことが出来るから後はひっぱり出せば良いだけになる。除滓作業は一般に非常な熱で大変な仕事だが、スターラーのために非常にやり易くなり、その結果現場員はスターラーを歓迎して

いる。

しかしながら、より重要なことは、酸化スラッグを完全に取りつて、ついで還元スラッグを準備するということが前よりもより効率的に出来るという事実である。この結果、Pの分析値が低くなり、還元スラッグの塩基度が増加する。例えば SAFE[®] はスターラー無しでは同じ品質に達することは不可能だと考え、特に塩基性ペッセマーと電弧炉と duplex 使用の場合価値があるといっている。

他の製鋼会社、例えばアメリカの Timken 社の 600 cm (20 ft) 内径炉および英国 Sheffield の Samuel Fox Co. の 580cm (19 ft) 内径炉でも P の低いことに満足しており、炉作業がさほど困難でなくなつた事実を喜んでいる。

D 不純物

酸化スラッグを効果的に除去出来るので oxide inclusions がより少なくなる。例えば、Hagfors では 100% スラッグの 15t 熔解で、スターラー使用での一回除滓の作業の方が、以前のスターラーなしの 50% スラッグで 3 回除滓の作業に比べて同様ないい結果を得ている。

脱硫も良いので、sulphide inclusions が減少しその量もより良くコントロールされている。(SAFE, Timken). 高級鋼を製造する他の製鋼会社で inclusions の数がスターラーを設備する前に得た値の半分になつた。

時間の節約

炉中時間の節約はつぎのような各種の場合が考えられる。

1) 溶解時、スターラーは温溜りの温度を非常に均一にし、また大部分の金属が溶解し、なお残片がある時。このことは大型炉において特に起る。炉壁や炉底にくついている塊りが湯の中にひっぱり込まれる。

2) low C 量が必要で酸素吹精している間、また吹精をより平均してスタートした場合。

3) 除滓時、特にスラッグを完全に除去しなければならない場合。

4) 還元期に反応をより早めることによつて、また添加物の分布に要する待時間の減少によつて。

しかしながら実際の時間短縮による利益は、品質の条件が入つて来るので、算定が面倒になる。品質か時間かの問題になると、大抵の製鋼メーカーは品質を上げるこ

とを第一に考え、時間の節約は第二の問題とする。操炉計画や炉のスクラップ配合が、スターラー以外の理由で変更になっているところも多いので、スターラー取付前後の成績の比較というのは、作業表を十分検討しないでは出来ない。しかしながら数例を調べて見るのも面白いと思われる。

500cm (17 ft) 内径炉を SAFE で2カ月間スターラーを使った場合、使わない場合を比較して⁹⁾、品質によつて、節約時間平均 6~19分(毎熔解当り)を得た。除滓時はスターラー使用で 7~13分、使用しないで 10~15分で、節約は僅か2分余。しかし、同じ程度の除滓を考えると、ほんとうの節約は約5分ないしそれ以上となる、というのはかきまぜ棒を取りかえる時間も必要になつたであろうから。

スターラーを使つて (Avesta, 40 t) ステンレス鋼をつくる場合と reladling をやる場合とを比べると、reladling の 15分、Sの還元と、均一化を待つための15分とが節約され、最低 30分の短縮となる。

Surahammar での旧式 7 t 炉の場合、電気鉄板で非常にSの低い製鋼の例として手動で非常な攪拌をやつたに拘わらず精錬に 150分かかつた。新しい 10 t 炉で今日では 18 t 装入しているが、スターラーを使うと精錬時間僅か 60分で、品質が良くなり、しかも装入量が倍以上になつているのに 90分も短縮されたことを意味している。この節約された時間の幾分かは、もちろん炉が最新式になつたせいもあるが、大部分は、まあ少なくとも50分はスターラーのおかげであると考えられる。

経 済 性

スターラーの収益性を判定する時は購入価格、据付費、運転費を利得と比較してみななければならない。

据付費はローカルな条件にもよりまた特に問題として、炉の設計にもよる。炉底はオーステナイト鋼で、炉の下方には据付用の十分なスペースが必要である。今日の新しい炉の多くは非磁性鋼の炉底を取付けて、スターラー取付けのことが始めから考えに入れられている。このことはもちろん望ましいことだが、原則として、古い炉にスターラーを取付けることもなんら難かしいことでなく、大した問題なく炉底板の取換えも出来る。

装置全体が単にコンバーター、低周波発生装置、堅固な制御装置、運転盤、ポンプおよび補助設備から成つており保守は簡単である。したがつて操業費の主たるものは電力費で鋼塊 t 当り 10~20kWh となる。

利得を計算する際、炉操業のコストを節約する時つぎ

の可能性を考える必要がある。

- 1) 炉中時間の減少
- 2) 低廉スクラップ使用 (S含有量大)
- 3) 低廉な合金使用 (S含有量大)
- 4) より品質のすぐれた鋼を製造する可能性
- 5) サンプルが正確なことによる合金元素の節約
- 6) 鋼および合金の歩留り向上
- 7) 分析値が揃っていることにより不良品の減少、ならびに出鋼温度の均一化
- 8) 還元および均一化に要する炉中時間を変えることなく装入量を増加し得る。

炉のサイズが大きくなると湯の成分をコントロールするのが非常に難しくなるので、此等の利点の多くはより顕著となる、小型炉でかきまぜ棒を使い、スターラー程連続的にやれなくても均一した製品を得ることは可能である。

バスの直径と炉底ライニングの厚みとの関係が大型炉より小型炉の方が悪いので、kVAでの必要攪拌力は小型、中型炉ほとんど同様である。したがつて炉殻内径 250cm (8呎) の製鋼炉と 580cm (19呎) のものと同じ発電装置が必要となる。結果として攪拌装置の価格を炉自体の価格とくらべると小型炉では割高となつて来る。

スターラー使用の場合の利得を完全に算定することは難しい。しかし操業しているスターラーの例を検討することも意義なしとはしないだろう。

SAFE⁹⁾ では 500cm (15 ft) 内径炉で1日3チャージの場合、1チャージ当り 10分の節約と仮定して3年3カ月で償却する筈といつている。この計算では他の利点は全然考えていないので例えば、ボール・ベアリング鋼の不良品が数%ばかり減少している。

Timken での不良品も減少し、報告では「正確な温度コントロールと低S量とが semi-finished steel の表面を改善し、そのためスクラップ損失がより少くなり、conditioning が少なくなつたので finished steel の出荷高が 4% も増加することになる」と。

Surahammar では旧式 7 t 炉と最新の 10 t 炉、すなわち 370cm (12 ft) 内径炉で 18 t 装入可能のものとで変圧器用珪素鋼板の製造についてその生産報告を検討した。

すでに述べた通り、これらの統計では精錬時間が90分短縮になつている。これらのうちで 50分はスターラーのせいであり、スターラーの価格を 100% とすると年間 145%分の節約に等しくなる。スターラーはまた溶解

終期にも使用出来、それは吹精を湯がふき出す危険無しに10分早く開始出来ることである。これは30%分の節約となる。しかしながら唯15%分のみをここでは含み入れるというのは、これは鋼の価値で湯のふき出しが起つたならばなくなつたかも知れないものだから。なお炉にはより低廉なスクラップを装入出来、それが年間250%分の節約に等しくなる。この何%分かはもちろん、より最新式の炉のせいもあり、方法が改善されたからでもあるが、少くとも60%分はスターラーによるといつて良い。これらの3条件を総合した節約は年間少くとも220%分となる。そのためスターラーは他の凡ての利点を考えないでも、6カ月以内に償却出来ることとなる。高級鋼生産での価値が余りにも大きいので、Surahammarでは上述の合計利得を無視してもなおスターラーを非常に良い経済的投資品と考えている。第6図によると合金の10分の数%の節約はなんでもなさそうだ。年間30,000tのステンレス鋼をやるとして500cm(17ft)内径炉で10分の数%ということは年間Cr, Ni およびMoをそれぞれ30t節約することを意味する。これは、スターラーの購入価格を100%とすると210%分の価値を表わしている。同じ炉でスターラーを使つての時間の節約が1チャージ当たり少くとも30分で、年間さらに30%分の価値を表わしている。

U.S.A.の有名な鑄造工場で、低合金鋼を作る場合、スターラーコイルを1基は330cm(11ft)内径炉、12.5t装入、他を25t、390cm(13ft)内径炉に取付けた。装置1セットの最初の1カ年の節約を算定したところ、スターラーの購入価格を100%として

合金の消耗減少ならびに安いスクラップ使用により	55%分
不良品の減少により	57%分
計	112%分

この年間節減量はスターラーに支払つた金額をずつと上回つている。

耐火物の消耗

スターラーであるいは都合が悪いと思われるのはライニングの消耗を増す原因を作るかも知れないことである。これは部分的には炉底や炉壁に金属の流れが当ることから起る侵食によるが、多分大部分の原因は、溶湯の温度勾配が大きい時に、炉底煉瓦がスターラーのない時よりも高い温度にさらされることにあると思われる。斯ういう考え方が出るのは普通の程度で操作している大抵の炉では、スターラーが正しく使われている時には耐火

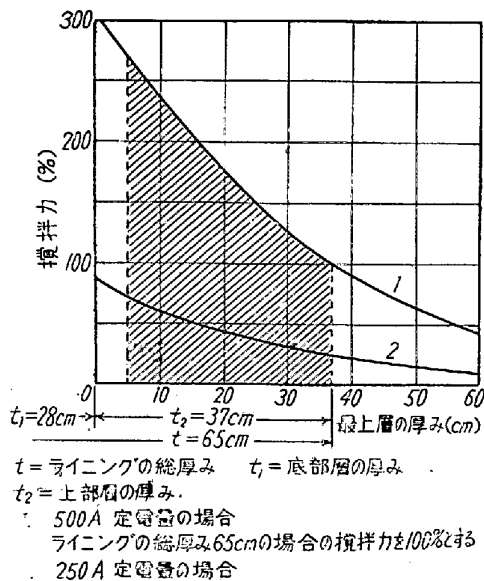
物の消耗は全くないかごくわずはごくわずかししか認められない事実による。

例えば Surahammar では、スターラーを使つている炉と他の炉との補修材料の消費量は生産報告書の誤差範囲に入る。両方の炉は同じ大きさで、スターラーのない炉は変つた熔解法によつている。SAFEでは、スターラーを鉬石を使つている期間に使わなければ⁶⁾、ライニングに対する悪影響はなんら認められなかつた。また Timken 社では熔解技師が、炉およびスターラーの新しい操業特性に慣れた時には「普通の炉で経験した侵食と余り変らない成績である。」といつている。

普通の条件ではライニング消耗が特に増加することを恐れる理由はなにもない。しかしながら、もちろん炉底ライニングをしつかりとやることは大切なことで、炉底を抜くと攪拌コイルをこわしてしまうことになるから、また他面問題としている期間に必要な以上の攪拌力を使うことも無意味だ。攪拌力の大きさは実験的に確かめられなければならないので、ごく一般的な推薦ができるだけだ。これがなぜこの最新式の装置が連続的にスターラーの電力を調整するというごく簡単な方法で設計される理由です。

しかしながら、ステンレス鋼を製造する場合酸素吹精後の高温、例えば1,700~1,800°Cになつている時、溶鋼の流れが耐火物の消耗を増加する原因となり、それが攪拌力に関係していることもあり得る。均一化の問題を論じている時、例として、Hagforsの400cm(13ft)内径炉の攪拌用電流を250から500Aに増加したこと触れた。この結果炉底の平均寿命が20%ばかり減少した。セットした電流はそのライニング使用の間は一定にしておいたので、ライニングがより薄くなつた時には攪拌力は必要以上に大きかつた。第12図によると500Aで65cmライニングの場合の必要攪拌力を100%として、薄くなつた場合約250%位となる。(この場合ライニングは底部層が28cm、上部層が新しい場合37cm厚となつている。ステンレス製鋼の場合、ライニングの厚みが熔解ごとに減少し、部分的ないたみのみを慎重に修理している。)

ただ今ではスターラーの電流は炉底の厚みが減るにしたがつて調整されて、攪拌力が常に一定になるように保たれている。このためスターラーによる消耗は最低になつたが、チャージの数で平均寿命いくばくになつたかの数字は未だ出ていない。この際付言しておき度いことはスラッグ・ラインを常に目につく範囲に保つておくことが大切で、さもないといつも動いているスラッグが reac



第 12 図 炉底ライニングの厚さの函数として表わした攪拌力（陰影を施した部分が上部層の厚みの許容範囲を示す）

tive であるから、ライニングが食われやすい。

他方、スターラーがライニングの寿命を増加した例がある。Avesta で 40 t 炉を使いステンレス製鋼の場合の酸素吹精をやつた時ランスの下に来る炉底が掘れていることを知つた。それで同時にスターラーを使うことを試み、消耗が炉底全部にわたつて平均化し、耐用回数が増加した。

結 論

誘導攪拌装置の実用化後最初の 10 年間に、約 40 基の電弧炉に取付けられ、試験当時以来の成績はきわめて満足すべきものであつた。その結果、下記のことが明らかとなつた。

1. 湯の均一性がスターラーのない場合に比しはるかによくなり、1 カ所の試料が全部を代表することになりまた合金元素の節約より正確な温度測定が可能となる。
2. 鋼のスラッグとの間の化学反応が速められ、理論平衡に近づき得る。例えば鋼の S および O_2 の量が低くまた平均したレベルに保たれる。
3. 除滓が相当簡単になる。スターラーを使うとより容易にまた効果的に行なわれる。

4. 鋼の中の不純物が減少する。

作業時間の短縮、品質の向上、合金元素の節約が可能であるなどはスターラーを設備することが類いもなく良い投資であり、ごく短時間に償却できることを証明している。このことは最初の 1 基目による経験をしてからさらに 2 基、3 基目を製鋼会社が注文している事実によつても分る。

誘導攪拌装置はこの通り冶金屋には良い道具であり、電弧炉を使つて製鋼する場合に製鋼法をより良くコントロールできる可能性を、冶金屋に与えている。

終りに臨み私にこの講演の機を与えて下さいました日本鉄鋼協会に御礼申し上げます。御静聴有難うございました。（通訳：大同製鋼株式会社工業炉技術課長 中岡章）

文 献

- 1) Hammarlund, P. E., Induction stirrers for electric arc furnaces. Paper of the Third Congress on Electro-Heat in Paris 1953, pp. 67~73.
- 2) Dreyfus, L., Nilsson, F., Induktiv omröring i ljusbågsugnar (Inductive stirring in arc furnaces). Jernkontorets Annaler 133(1949), pp. 371~468.
- 3) Fornander, S., Nilsson, F., Inductive stirring in arc furnaces. Journal of Metals 188 (1950):1, pp. 22 and 256.
- 4) Dreyfus, L., An induction stirrer for arc furnaces. Asea Journal 23 (1950): 3~4, pp. 46~66. (Ein Induktionsrührer für Lichtbogenöfen. Radex Rundschau 1952, pp. 191~199.)
- 5) Walther, H., Induction stirring provides better control of operating techniques. Journal of Metals 192 (1954):1, pp. 21~23.
- 6) Duflot, Porcheray, Brassage électromagnétique, Application la désulfuration. Revue de Métallurgie 52 (1955):4. (Summary in Iron and Coal Trades Review, December 9th, 1955.)
- 7) Speith, v. Emde, Schneider-Milo, Die Wirkung einer elektroinduktiven Badbewegung auf die metallurgischen Reaktionen im Lichtbogenöfen. Stahl und Eisen 78 (1958):4, pp. 215~223.