

時期と看做することができるが、もしこの時精錬開始可能の温度に達していなくては適正な M.D. と判定することは出来ない。すなわち Fig. 2 に示すごとく、F 値が最低値を示した時の鋼浴状況は B 型のものについては、C—Fe 状態図の液相線とほぼ同温度であり、A 型のはこれより約 25°C 高い温度を示すといえる。勿論液相線とほぼ同温度では精錬を開始することは不利で、同時に炉内は完全に収まっているとはいえない。

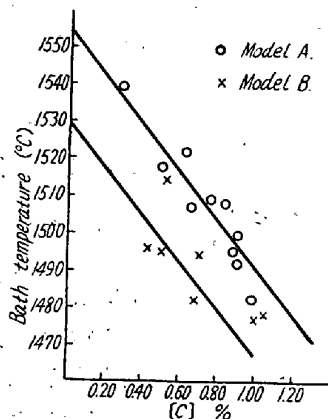


Fig. 2. Relation between [C] % and bath temp. at the lowest fluidity of slag.

このようにみると M.D. の状態ならびにその判定をばらつかせている最も大きな原因は全くこの A 型 B 型の現象が無作意に起り得るところにあるとみることが出来る。

ii) 正しい M.D. をばらつきなく判定するには。

次に従来より行われて来た M.D. の肉眼判定よりより合理的な判定法、しかもきわめて簡単な方法を見出す必要がある。精錬作業を開始するには現在までの研究結果から液相線より 25°C 高温であることが望ましいので、先ずこの温度を M.D. 標準温度とした。この温度は A 型の (ΣFe) および F 値の最低値とほぼ一致する。一方 B 型のは (ΣFe) および F 値の最低値を示した時期よりこの標準温度に達するまでの状況は調査結果から温度上昇度; 15°C/10mn, 脱炭速度; 0.105%/10mn の値が得られている。したがってこれ等の値から F 値が最低値を示してからこの M.D. 標準温度に達するまでの時間とその時の [C] を推定することができる。かくしてできた M.D. 予想早見図を Fig. 3 に示す。

実際作業においては、F 値がほぼ最低値を示した時の [C] と温度の測定を行えばこの図から M.D. 時期と M.D. 状態を推定し得るわけで、この合理的測定結果は M.D. のばらつきを非常に小さくせしめることができる。

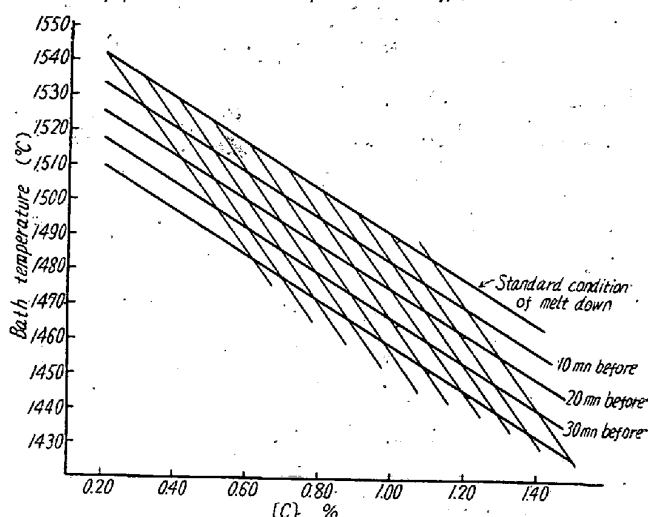


Fig. 3. Nomograph for deciding the reasonable melt down from [C] % and bath temperature.

IV. 結 言

M.D. の判定は従来肉眼によつて来たが温度的に可成大きなばらつきを示している。勿論このことは M.D. 状態そのものが可成ばらつき複雑なためと考えられる。しかし M.D. 状態は以後の精錬作業にきわめて大きな影響を持つので、M.D. 前後における炉内状況の調査を行った結果、次のことが判明し、より合理的な M.D. 判定法を見出すことができた。

- i) M.D. 前後のスラグの物理化学的变化は A 型と B 型の二種類に大別し得る。
- ii) このようなスラグはおのおの異つた性質を有し、肉眼的判定を複雑かつばらつきを大にしている重要な因子であるといえる。
- iii) このような性質を利用してスラグの F 値が最低値を示した時に [C] と鋼浴温度の測定を行えば合理的の方法によつて標準 M.D. 時期および状態を知ることが出来る。しかしながらもちろん M.D. そのもののばらつきを減少せしめることは別の問題として解決せねばならない。

(96) 製鋼用電気弧光炉の誘導攪拌について

On the Application of Induction Stirring for Steel-making Practice with an Electric Arc Furnace

S. Nishigori, et alii.

大同製鋼, 研究所

工博○錦織清治・吉田 恵・酒井稔三郎

I. 緒 言

製鋼作業において鋼浴を攪拌することは精錬反応の促

進と鋼浴成分均質化のためきわめて重要な事柄である。そのため一般には攪拌棒を鋼浴中に挿入して人力を以つて1熔解中数回ないし十数回に亘つて攪拌操作を行つてゐるが、この操作は高熱かつ重筋作業であるためやゝもすれば攪拌が不充分となり易く操業上不慮の失敗を招きあるいは精錬時間の延長を来す等事故の原因となり勝ちである。

しかるに 1936 年 Dr. Ludwig Dreyfus は誘導による鋼浴の攪拌方法を考案し錫の熔解炉でこの実験を行つて成功した。しかして 1939 年スエーデンの Surahammas Bruks 社の 15 t 弧光炉にこの原理による誘導攪拌器を取付けて非常な効果を挙げ、その後装置に改良を加えて 1947 年 Uddeholms 社の 15 t 炉に、続いて 1948 年 Surahammars 社の 10 t 炉に取付けて工業的実験を行つた。その後本装置は欧米の製鋼工場に採用されて好結果を収めている。

大同製鋼 K. K. においては昭和 27 年 (1952 年) 以来誘導攪拌に関する研究を行い 2 t 試験炉にこれを取付けてその各種特性と操業状況およびこれが成品におよぼす影響について試験を行つた。

II. 大同製鋼 K. K. 2 t 炉の誘導攪拌装置

本研究に使用した電気弧光炉および誘導攪拌装置の定格は次の通りである。

電気弧光炉: DSS-2000-S-L 型 1200 KVA 変圧器付。

炉殻内径 2176 mm, 不銹鋼炉床板付, 公称容量 2 t
誘導攪拌装置: 3 相 2 極, 100/50 KVA, 110/55 V, 525 A, 10/5 サイクル

電源発生方式: 電動発電機式周波数変換方式

電動機……75 H. P., 220 V, 1160 r. p. m.

発電機……3 相 4 極 10/5 サイクル, 100/50 KVA, 110/50 V, 525 A, 300/150 r. p. m.

誘導攪拌用電源は電動機の起動抵抗器によつて 50% の速度調整を行い発電機の周波数を 5~10 サイクルの間に任意に変えて操業し得るとくした。

誘導攪拌器は炉床板の彎曲半径と同じ中心円になるような彎曲度を有する扇形溝付電気鉄板を巾 400 mm に積層しこれに絶縁銅帯の捲線を施したもので頑丈な鉄製台枠によつて炉床板の下に取付けた。攪拌器及び炉床板の冷却には冷風強制通風方式を採用したため定常操業時攪拌器捲線の温度上昇は最高 37°C, 炉床板は 10 サイクルで 41°C にして温度上昇による心配はなかつた。攪拌器上に誘発される磁場の強さは攪拌器電流の強さに比例して増加し攪拌器からの距離の自乗に反比例して減少するので炉底耐火物の厚さは攪拌効果を増すために極力薄

くすることが必要であるので本炉では攪拌器から鋼浴底部までの距離を 465 mm とした。

炉床板には磁気減衰率の最も少い安定オーステナイトステンレス鋼の 12 mm 厚さのものを使用した。この攪拌器を使用して定格電流を流した場合の鋼浴表面の流速は約 0.25 m/sec と目測された。

III. 攪拌装置付電気弧光炉の操業特性

攪拌操作の影響を調査するために日常作業において電弧安定後より出鋼まで攪拌器を使用したものと攪拌器を使用しない普通操業とを行ひ比較した。

(1) 熔解期

炉底にできた熔鋼を攪拌することによつて熔解を促進し熔解時間の短縮および電力量の減少を期待したが効果は得られなかつた。

(2) 酸化期

脱炭のために酸素吹精を行つたが酸素吹精による沸騰が激しく脱炭速度、脱磷速度についても攪拌の効果は認められない。しかし酸素吹精後攪拌操業は普通操業に比し酸素含量は平衡状態に近かずにいるようである。

(3) 除滓作業

出鋼口側で盛上るような方向に誘導攪拌操作を行えば鋼浴表面周辺部の流速が最大となつて除滓口の方に還流して来る。除滓を容易にするために必要な流速は勿論スラグの流動性およびその量によつても異なる。2 t 試験炉で目測した流速は約 0.25 m/sec でこの程度ではスラグを速かに除滓口の方へ押し流す能力がなく除滓を容易にするという効果は認められなかつたがスラグの軟い時は出鋼口附近は鋼浴が露出して除滓口の方にスラグが集りきわめて完全に除滓することができる。

(4) 還元期

還元期の主な目的は酸化精錬によつて富化した酸化物を可及的短時間に極力還元し併せて脱硫を行うと共に所要の合金剤を添加して鋼浴を所定の成分に調整するにある。よつて攪拌の影響もこの目的に沿つて検討した。

(イ) 脱酸, 脱ガス

攪拌を行つたものは還元初期すでにスラグ中の (FeO) 1.26%, (MnO) 0.70%, (Cr₂O₃) 0.17%, 鋼中の [O₂] 0.0038% となり普通操業に比してきわめて少く脱酸のみの点よりすれば既に還元精錬の完了していることが判る。これ等の結果から攪拌を行うことによつて還元期を相当短縮し得るが実際操業においては成分調整のために炉中分析結果の判明するのを待つことが多く目下の所大きな短縮は求められない。

N₂, H₂ ガスの含量については攪拌した場合もしない

場合も差を認められないがこれ等のガスは還元期の長引く程増加する傾向にあるので攪拌操作によつて還元時間が短縮すればこれ等のガスの増加を間接的に減少することができる。

(ロ) 脱 硫

鋼浴中に硫黄塊を添加してその硫黄含量を増加し、攪拌の有無が脱硫におよぼす影響を調査したがその結果は攪拌したものは鋼浴中の $[O_2]$ 量もスラグ中の (FeO) も早く減少し、したがつて脱硫反応も早く進行する。また攪拌したものは鋼浴とスラグとの接触が均量かつ充分に行われるため脱硫能力が減退せず鋼浴中の S 量は停頓することなく減少して行く。一寸攪拌しない時は鋼浴とスラグとの接触部においてのみ脱硫が進行しスラグ全体としては未だ充分脱硫能力があるにも係わらず飽和状態となつて脱硫し出鋼時取鍋内での鋼浴とスラグとの接触によつて、また脱硫反応が進行するものと考えられる。

また日常作業において各期の S 量の 50 チャージの平均値は次表の通りで成品 S 量は攪拌したものは攪拌しな

	End of oxidation (%)	After slag off (%)	Before tap (%)	Ladle (%)
With stirring	0.0185	0.0114	0.009	0.007
Without stirring	0.0177	0.0135	0.011	0.009

いものより約 22% の低下を示している。

(ハ) 鋼浴の均質化に対する効果

添加合金元素を速かに熔解拡散して鋼浴を早く均質にすることは製鋼時間を短縮すると共に炉中分析値の正確度を増して成分調整を容易とし、ひいては特殊元素の節約ともなるもので重要な事柄である。

2 t 試験炉で高 Si 鋼、高 Mn 鋼および高 Cr 鋼について操業口前上表面、中央部表面および出鋼口底部の 3 カ所よりほぼ同時に試料を採り Fe-Si, Fe-Mn および Fe-Cr 添加後の鋼浴均質化の状況を調査したが、攪拌しないものはその位置による成分の変動が大きくかつ出鋼前まで均質化せず取鍋内で始めて均質化する傾向にあるが攪拌したものはその位置による成分の変動は極く少くかつ速かに成品成分に近づく傾向にある。

(ニ) 炉中分析値の正確度

精錬の途中に採取した分析試料が鋼浴成分を正しく代表することは成分調整上最も必要なことで特に高合金鋼においてしかりである。ステンレス鋼の熔解においてスラグ中の Cr を Fe-Si で還元した後の Cr 分析値と成品 Cr 分析値より逆算したその時の Cr% とをプロットしたものを分散分析して回帰直線を求めた。その結果は次の通りである。

$$\text{攪拌したもの} \quad y = 1.7 + 0.80x$$

$$s_y = 0.47$$

$$\text{攪拌しないもの} \quad y = 1.6 + 0.80x$$

$$s_y = 1.84$$

すなわち攪拌したものは標準偏差がきわめて小さくその分析値の信頼性が大である。

(ホ) 成品品質に対する効果

段削疵見試験、マクロ腐蝕試験、清浄度試験および結晶粒度試験について攪拌したものと攪拌しないものとを比較したがこれ等は出鋼操作、造塊作業の影響が大きく攪拌の有無による差は認められない。機械的試験では同一鋼種では化学成分がよく揃っているため攪拌したものはチャージによる差が少く、かつ向上している。

IV. 総 括

試験の結果を要約すれば次の通りである。

1. 熔解期には攪拌器の効果は少く熔解時間、電力量の減少は見られずまた脱磷脱炭脱珪素等の予備精錬も促進されない。
 2. 酸化期においては酸素吹精による沸騰の影響が大きく攪拌の効果は少い。
 3. 除滓については本試験の程度の流速ではいちじらしい効果は見られない。
 4. 還元期には非常に有効である。還元スラグのできが早く脱酸脱硫が迅速に進行し鋼浴の均質化が早い。したがつて合金剤添加後分析試料採取までの時間を短縮しかつ分析値の信頼度が高くなる。
 5. 温度分布が均一化される。
 6. 脱ガスについては O_2 には有効であるが H_2 , N_2 の除去には直接効果はない。
 7. 攪拌を行つたために炉耐火物が損傷することはない。
 8. 鋼品質すなわち非金属性介在物、結晶粒度調整、マクロ腐蝕試験等の向上には直接効果はない。
 9. 同一鋼種について成品成分がよく揃う。
- これを要するに誘導攪拌は還元期操業を容易にし時間の短縮および特殊元素の節約に大いに効果があるものと考えられる。今後特殊鋼熔製炉あるいは大型炉には絶体欠くことのできない設備になるものと確信する。