

[C]=0.40%, A.R. 8.5 では鋼浴 [C]=0.20%付近で還元雰囲気から酸化雰囲気に変化する。

4.3 空燃比と鋼滓中の酸化鉄の関係

鋼滓中の酸化鉄と溶鋼中の [O]% との間には相関があり、鋼滓中の酸化鉄量を低下させれば、溶鋼中の [O] %も低下することは周知である。次に鋼浴 [C] % の変化に対応して空燃比が、鋼滓中の酸化鉄に与える影響を

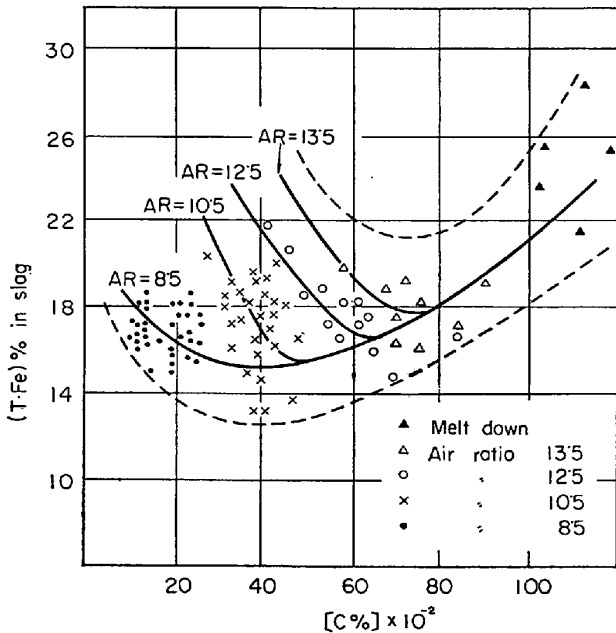
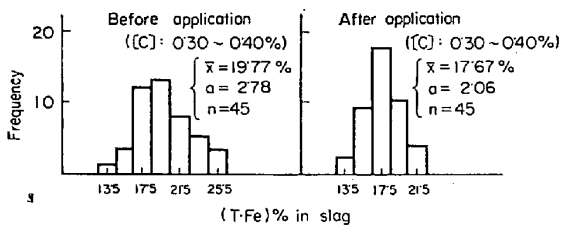


Fig. 4. Relation between (T-Fe)% in slag and [C] % during refining period.

1) Comparison of (T-Fe)% in slag



2) Sand seam test

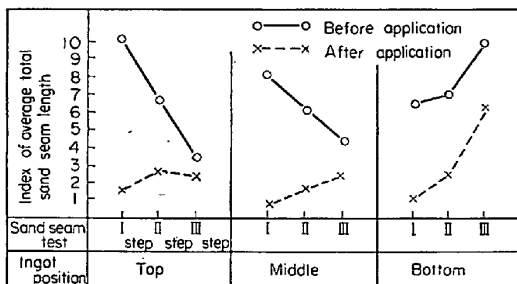


Fig. 5. Effect of application.

Fig. 4 に示す。精錬初期においては、鉄鉱石ならびに溶解期に生じた酸化鉄が未反応のまま残っているため、鋼滓中の酸化鉄量は、相当高い値を示しているが、脱炭が進むにつれて酸化鉄量は低下する傾向がみられる。この現象は脱炭速度が早いため、2次空気中の O₂ ガスにより生成される酸化鉄量より、脱炭により消費される酸化

鉄量が多いためと考える。空燃比別にみると Fig. 3 に示した還元雰囲気から酸化雰囲気に変わる付近で、酸化鉄の増加する傾向がみられる。これは雰囲気変化により、酸化鉄の生成量が増加するためと考える。

5. 空燃比制御

空燃比の制御による効果を鋼滓中の酸化鉄量の変化と地疵検査成績について調査し Fig. 5 に示す。鋼滓中の酸化鉄量は従来法と比べ平均値で2%低くし、偏差も小さくすることができた。実操業では鋼浴 [O] % の減少により、脱酸剤、特に Al の投入量を減少することができ、Fig. 5 に示したごとく、地疵成績についてもかなりの向上が得られた。

7. 結 言

平炉精錬期における炉内雰囲気との管理として、炉内雰囲気と排ガス組成の関係、空燃比の鋼浴および鋼滓に与える影響の調査から次のことが判明した。

1. 炉内雰囲気と排ガス組成の間には、一定の関係がある (Fig. 2)。

酸素吹込時: $y = 0.8x - 1.4$

酸素吹止後: $y = 0.9x - 0.4$

2. 空燃比の高い方が、排ガス中の O₂-CO 遷移点の鋼浴 [C] % が高くなる (Fig. 3)。

3. 空燃比の制御により、鋼滓中の酸化鉄量は従来法に比して約2%低下させることができた (Fig. 5)。

4. 空燃比が鋼浴および鋼滓に与える影響から、最適炉内雰囲気となる空燃比を設定することができた。

5. 実操業の空燃比管理により、鋼滓中の酸化鉄量の低下、脱酸用 Al 使用量の減少により、低炭素キルド鋼の地疵を低減することができた。

文 献

- 1) 熱管理技術講義
- 2) 榎: 第23回製鋼部会資料
- 3) 松下, 長, 五十部: 鉄と鋼, 52 (1965) 3, p. 393

669.063.8:62/.365.2
:669.187.2

(138) 電磁攪拌法について

(電磁攪拌法による精錬の研究—I)

東北特殊鋼

松本二郎・斎藤茂治・阿部有道・本郷 剛
On a Method of Electro-Magnetic Stirring.

(Study on the refining by electro-magnetic stirring—I)

Jiro MATSUMOTO, Shigeji SAITO
Yudō ABE and Tsuyoshi HONGŌ

1. 結 言

電気弧光炉内の鋼浴を攪拌することは、周知のごとく精錬反応の促進、合金元素の節約、均質な良質鋼が得られるなどの多くの利点を有している。しかしこれを自動化の立場から見ると、炉内の鋼浴が均質になり、成分調整、温度調整などが容易になるということは、従来多分に経験に頼っていた精錬技術を一步自動化の方向に近付けたことにもなる。

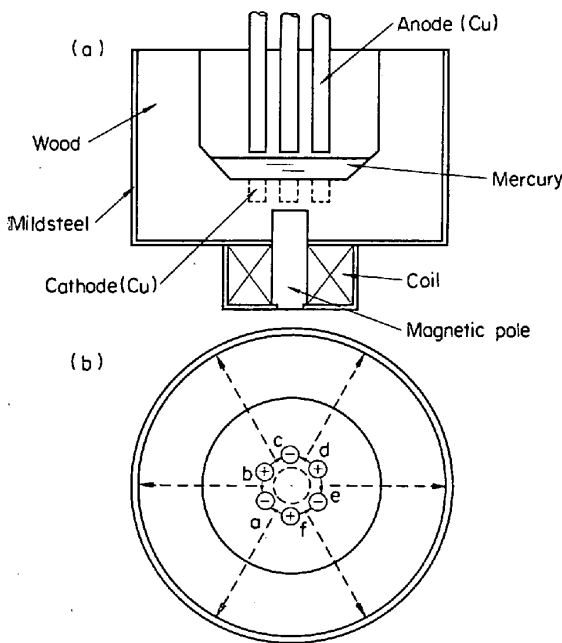


Fig. 1. Construction of model furnace.

現在実用されている攪拌方法には、炉底に回転磁界を生ずる多相巻線を施したコイルを設けて、その電磁力で攪拌する方法¹⁾²⁾、炉床下部で直流電磁石を回転し、その電磁力により攪拌する方法³⁾の2種類がある。しかし以上の方法で得られる電磁力は、鋼浴中の磁界の強さによつてのみ決定されるので、十分な攪拌力を得るためには大容量の電磁石を必要とすることが欠点であつた。

筆者らはこの欠点を改善するために、溶解電流を直流とし、炉底に取付けた直流電磁石の磁界との相互作用によつて攪拌する方法を考案し検討した。この攪拌装置を設計する場合にもつとも問題になるのは、電磁石の起磁力を決定することであるが、本報ではこの設計資料を得るために行なつた実験結果について報告する。

2. 原理

電弧炉は Fig. 1 (a) に示すごとく、3本の上部電極と、炉底に埋込んだ3本の下部電極、および炉底に取付けた平板型電磁石とから構成され、その電極、磁極は Fig. 1 (b) のように配置されている。今、電流、磁界をそれぞれ実線矢印、点線矢印で表わすと、炉内の金属流体には、たとえば、a, c, e 点において斜上向、また b, d, f 点においては斜下向に働くような電磁力が発生する。したがつて、金属流体はこれらの位置で上下運動を行ない、さらにこれらの力が合成されて、表面は時計の針方向に回転することになる。

このような炉内の電流分布、磁界分布を調べることができれば、これらの相互作用によつて生ずる電磁力を解析し、電磁石の起磁力を決定することが可能になるのであるが、実際にそれを解析することは非常に困難であるので、本報ではこれを実験的に求めることにした。

3. 実験方法

容量 50 kg および 1000 kg のエルー式電気弧光炉の模擬炉を作り、(前者は縮尺 1/10, 1/5, 1/4, 後者は縮尺 1/20, 1/15, 1/10) 溶鋼の性質に類似している水銀

を用いて実験を行なつた。すなわち、この炉内に溶鋼の容積に相当する水銀を入れ、各模擬炉について負荷電流 (I_L)、および励磁電流 (I_f) を種々変えて速度を測定し、速度 (V_e) と I_L 、起磁力 (U)、水銀容積 (V) との間に成立する実験式を求めた。水銀表面は酸化防止のために水で覆い、電極と炉壁の間の中央部において、円周方向の速度を水に浮かした紙片の速度から求めた。なお水銀は I_L の大きさを変える度毎に稀硝酸で洗滌して使用した。またこの実験式が実際の溶湯の場合にどの程度適用できるかを検討するために、50 kg, 1000 kg 電気弧光炉に電磁石を取付けて溶湯の攪拌速度を調べた。

4. 実験結果および考察

4.1 模擬炉による実験

Fig. 2 は 50 kg 炉の 1/10 模擬炉において、 I_L をパラメーターとし、 I_f に対する水銀表面の速度 (V_e) の実測値を示す。これらの測定結果によれば、 V_e は I_f に対して指数函数的に増加するので、 $\log V_e$ と $\log U$ との間には直線関係が成立し、この傾斜は I_L に関係なく等しいので V_e と U との間には (1) 式が成立する。

$$V_e = k \times U^\beta \dots\dots\dots (1)$$

k は I_L, V などによつて定まる定数であり、これらの間には (2) 式のような関係がある。

$$k = A \times I_L^\alpha \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式の定数 A は、 V との間に (3) 式のような関係にある。

$$A = C / V^\gamma \dots\dots\dots (3)$$

したがつて V_e と、 U, I_L, V との間には (4) 式のごとき実験式が得られる。

$$V_e = C / V^\gamma \times U^\beta \times I_L^\alpha \dots\dots\dots (4)$$

ここに定数 C は水銀の粘性、容器との摩擦抵抗などの関係する定数であると考えられる。

各模擬炉の実験から α, β, γ を求めた結果を Table 1 に示す。 β は炉容積の増加とともに減少するが、これは同じ起磁力でも炉容積の増加とともに磁極間隔が増大し、水銀浴内の有効な磁束密度が減少するためである。

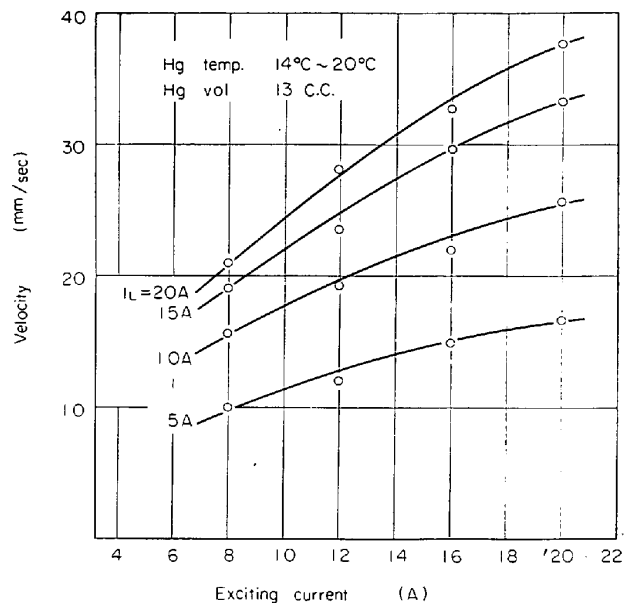


Fig. 2. Effect of exciting and load current on stirring velocity.

Table 1. Relation between volume of furnace and constants.

	Reduced scale	C	α	β	γ
50 kg furnace	1/10	0.18	0.2	0.55	0.7
	1/5	0.31	0.2	0.46	0.7
	1/4	0.37	0.2	0.42	0.7
	1/1	1.28	0.2	0.26	0.7
1000kg furnace	1/20	0.20	0.29	0.67	0.58
	1/15	0.23	0.29	0.65	0.58
	1/10	0.24	0.29	0.64	0.58
	1/1	0.37	0.29	0.52	0.58

。また (4) 式より各模擬炉について、それぞれの実測値を代入して定数 C を求めると Table 1 のごとく炉容積の増加とともに増加する。このように β , C は炉容積によつて定まる定数であるので、炉容積をさらに拡大する際には、両者の関係から β , C を推定し、(4) 式により電磁石の起磁力を決定することが可能である。

4.2 電気弧光炉による実験

溶湯を攪拌する場合には、水銀と溶湯の比重差、粘性係数の相違、あるいは炉壁の粗さの違いなどがあるために、前述の実験式をどの程度適用できるかについて検討する必要がある。そこで容量 50 kg, および 1000 kg の電気弧光炉に電磁石を取付けて実験を行なうことにした。

4.2.1 装置の構成。電気弧光炉においては、通常は交流電流によつて溶解するが、攪拌を必要とするときには 70V, 6000A の Si 整流器に切り換え、直流電流によつて溶解する。励磁電源には 50 kg 炉の場合には 500A 整流式アーク溶接機を、また 1000 kg 炉の場合には 80V, 1000A の Si 整流器を使用した。Fig. 3 に 1000 kg 電気弧光炉の構造を示したが、通常の電気弧光炉と異なるのはライニング中に埋込んだ下部電極と、炉底に取付けた電磁石を有することである。下部電極は厚さ 30 mm, 外径 1110 mm の砲金板の 3 個所に直径 13 mm の軟鋼棒を 21 本ずつ植込んだものである。軟鋼棒の先端は溶湯に接触しているので一部分溶損するが、砲金板を水冷しているので実用上は全く支障がない。電磁石は 18-8 ステンレス製の炉底板の下に取付け、磁極は水冷式とした。電磁石の仕様は下記の通りである。

50 kg 炉。鉄心：軟鋼，径 100 mm，コイル：3 mm × 25 mm

軟鋼板，巻数：78 回，絶縁：ガラステープ。

1000 kg 炉。鉄心：鑄鉄，径 400 mm，水冷式，

コイル：内径 7 mm × 12 mm，外径 11 mm

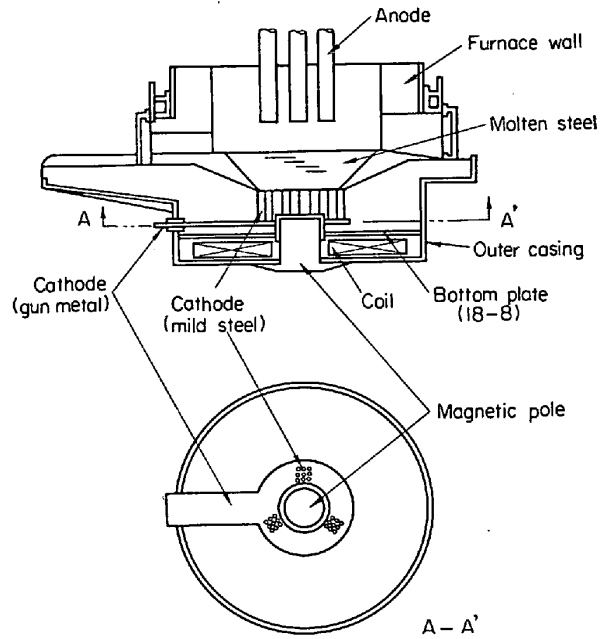


Fig. 3. Construction of 1000 kg arc furnace.

× 16 mm 角銅管。

巻数：184 回，絶縁：テトロン糸 0.2 mm 厚

4.2.2 溶湯の攪拌速度

(1) 50 kg 炉の場合。3~4% C の鑄鉄を交流で溶解し、溶湯温度がほぼ 1600°C に達してから 4000A の直流に切換え、完全に除滓してから攪拌を行なつた。速度は電極と炉壁との間の中央部で円周方向の速度を、溶湯表面に浮かしたコークス片の移動速度を数回測定して求めた。Table 2 に溶湯表面の速度と攪拌条件を示す。

50 kg 模擬炉の実験式を 50 kg 炉容積まで拡張すると、Table 1 のごとき β , C が得られるので、溶解電流 4000A, 励磁電流 300A の場合について、(4) 式により V_e を求めると 922 mm/sec となる。したがつて計算値 (V_e) と実測値 (V'_e) との間には、 $V'_e = 0.85V_e$ の関係がある。計算値と実測値とは比較的良い一致を示すが、これは模擬炉において容積比で実験を行なつたために、実験式の中に水銀と溶湯の比重差が安全係数のような形で入っているためと考えられる。

(2) 1000 kg 炉の場合。3~4% C の鑄鉄を溶解し、溶湯温度が 1500°C に達してから 5000A の直流に切換え、励磁電流を 200A, 300A, 400A とした場合の速度を測定した。この場合、除滓して溶湯表面の速度を測定することは困難であつたので、除滓せずに上部電極直下において溶湯表面の円周方向の速度を、コークス片の移動速度から求めた。Fig. 4 にその結果を示す。図示した

Table 2. Velocity of molten metal and test condition.

	C (%)	Temp. (°C)	Load current (A)	Exciting current (A)	Velocity (mm/sec)	Mean velocity
1	4.00	1630	4000	100	291	264
2	3.30	1660	4000	100	236	
3	3.77	1670	4000	300	875	788
4	4.00	1630	4000	300	700	

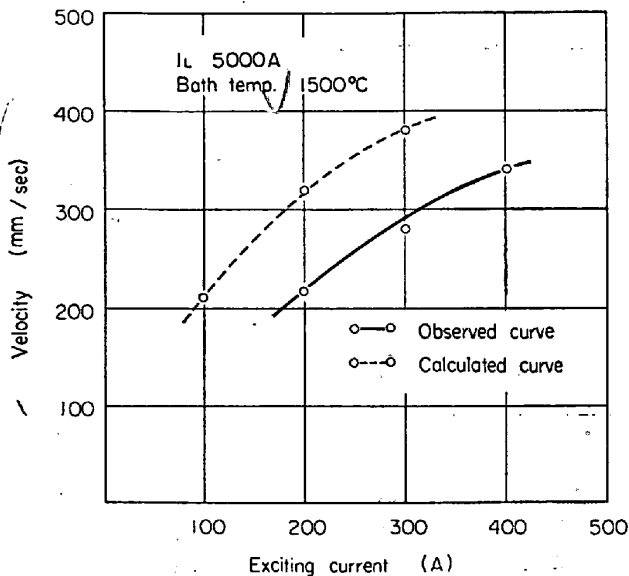


Fig. 4. Stirring velocity in 1000 kg arc furnace.

計算値は模擬炉の実験式を、1000 kg 炉の容積まで拡張したときの計算値 (V_e) と 50 kg 炉において得た $V_e = 0.85 V_e$ の関係から求めた速度 (V_e') である。実測値は溶滓の速度であるが、計算値は溶湯温度が 1600°C のときの溶湯速度を基に行なっているため、計算値と実測値との間には著しい相違がある。しかしこの場合にも、溶湯の速度は溶滓の速度よりもかなり早いものと観察され、さらに溶湯温度が 1600°C になれば、かなり計算値に近接すると考えられる。

なお 1000 kg 電気弧光炉において、成分の均質化、脱酸、脱硫試験などを行なった結果によれば、溶解電流が 5000 A の場合に、励磁電流 200~300 A で十分な効果が得られた。励磁電流 200 A のときの計算値は Fig. 4 によれば 320 mm/sec 程度であるので、攪拌装置を設計する場合には、実験式を用いて、速度が 300 mm/sec になるように起磁力を決定すれば十分な効果が期待できる。

5. 結 言

容量 50 kg, 1000 kg の電気弧光炉と、これの模擬炉を作つて、攪拌速度におよぼす負荷電流、起磁力、炉容積の影響を調べた結果、下記のことが判明し、攪拌装置を設計する際の資料を得ることができた。

(1) 実験式 $V_e = C/V^\alpha \times U^\beta \times I_L^\gamma$

V_e : 溶融金属の速度, I_L : 負荷電流,
 V : 溶融金属の容積, U : 起磁力
 C, α, β, γ : 定数

(2) 実際の溶湯においては、実験式より求めた計算値のほぼ 80% 程度の速度が得られた。

(3) 溶湯を攪拌する場合に必要な起磁力は、(1), (2) の関係より、300 mm/sec の速度が得られるように決定すれば十分である。

本研究に際してご指導いただいた、東北大学村上孝一助教授、高橋実教授に深く感謝いたします。

本研究の一部は、昭和 39 年度通産省工業化試験補助金の交付を受けて実施したもので、ここに付記して謝意を表する。

文 献

- 1) P. E. HAMMARLUND: Paper read at the Fourth International Congress on Electro-Heat at Stresa, 25-29 May, 1959
- 2) 齋藤, 島貫: 東北大学選鉱製錬研究所報告, 第115号, 第139号, 第222号
- 3) R. D. THOMAS and D. M. CALABRESE: Westinghouse Engineer, Sept, 1960

621.746.047:621.746.395.4
 :666.764.

(142) 連続铸造用タンデッシュノズルについて

北日本特殊鋼, 八戸工場
 工博 小池伸吉・○日景 徹・渡部十四雄
 On the Tundish Nozzle Brick for Continuous Casting

Dr. Shinkichi KOIKE, Touru HIKAGE and Toshio WATANABE

1. 結 言

連続铸造で使用する耐火物の中で、タンデッシュノズル煉瓦は、铸造を円滑に行なうためには次の条件が必要と考えられる。

ノズル口径の拡大や閉塞が起こらないこと、すなわち、口径の変化が少ないことである。そのためには

- 1) 溶鋼に溶損されることが少ない。
- 2) ノズル内面には付着物が生じない。
- 3) 溶鋼とノズルの Wettability (濡れ) が少ない。

現在、連続铸造では、ノズル材質として、ジルコニア (ZrO_2)、ジルコン (ZrO_2, SiO_2)、マグネシア (MgO) 粘土-黒鉛質 ($C-Al_2O_3-SiO_2$) 高アルミナ (Al_2O_3, SiO_2) などが铸造鋼種、使用条件の相違によつて、上記条件を満足せしめるよう、種々選択使用されている。

筆者らは、純酸素上吹転炉にて溶製した 0.3%~0.8% C の中、高炭素鋼を対象に、種々の材質のノズル煉瓦を使用して、比較試験を実施したので報告する。

2. 試 験 結 果

Table 1 に比較試験に用いたノズル煉瓦の化学成分、物理的性質を示した。使用したノズル煉瓦の口径は、22~24 mm ϕ である。

Fig. 1 にノズル煉瓦の使用状況を示す。鑄片サイズは 115 mm ϕ , 165 mm ϕ であり、コストランドで 8~15 t の溶鋼を铸造する。

铸造鋼種は、純酸素上吹転炉で溶製した 0.3%~0.8% C の中、高炭素鋼 (Al 0.4 kg/t 取鍋添加) で、铸造前後におけるノズル煉瓦の溶損率、および溶損状況、すなわち、溶損されたノズル断面状況、铸造時における溶鋼流の観察などについて調査した。

なお、溶損率は、ノズル口垂直部 3ヶ所の铸造前後における口径拡大率で示した。

Fig. 2 に各種ノズル煉瓦を使用した場合の溶損率を示した。図よりわかるように ZrO_2 系ノズルについては $ZrO_2\%$ の減少にともない溶損率は増大する。

60%以上のジルコン質はジルコニア質とほとんど同一