

第 4 会 場 (製 鋼)

(61) 100 kg 真空誘導溶解炉による各種炭素鋼の脱ガス反応について

(鋼の真空誘導溶解に関する研究-I)

神戸製鋼所, 中央研究所

中野 平・高田 寿

○浮橋 一義・工博 成田 貴一

On the Degassing Process of Various Carbon Steels by 100 kg Vacuum Induction Melting Furnace.

(Study on vacuum induction melting of steel-I)

Taira NAKANO, Hisasi TAKATA

Kazuyoshi UKIHASHI and Dr. Kiichi NARITA

I. 結 言

最近真空溶解技術ならびに設備が非常に進歩し、電磁気材料、不銹鋼、耐熱鋼、軸受鋼などの材質改善を目的として真空溶解がさかんにおこなわれるようになり、真空冶金の分野が拡大されてきた。真空溶解炉も初期の頃は実験室的の小型炉がもつぱら用いられていたが、最近では米国の Utica 社が 2.5 t (5000 lb) の工業用大型炉を設置している現状である。ところが斯界における真空溶解の研究は、そのほとんど大部分が 10 kg 以下の小型炉による場合が多く、中型および大型炉による基礎的な研究は比較的少ない。本研究は真空冶金に関する総合的研究の一環として 100 kg 内熱式真空誘導溶解炉により各種炭素鋼を対象として精錬過程における化学成分の挙動を調査し、操業法の検討をおこなった 1 例である。

II. 装 置

本研究に用いた 100 kg 内熱式真空誘導溶解装置の排気系統図を示すと Fig. 1 のとおりである。すなわち溶解室は 3,000 l/min 油回転ポンプ, 25,000 l/min メカニカルブースター、および 5,000 l/sec 油拡散エゼクターポンプからなる直列排気系によつて排気し、Mould 室は 1,400 l/min 油回転ポンプおよび油拡散エゼクターからなる直列排気系によつて排気する。また後者の排

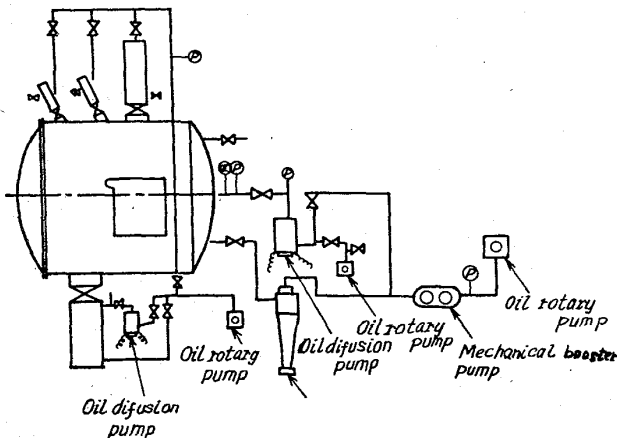


Fig. 1. Pump system of the 100 kg vacuum induction melting furnace.

気系は添加室、ガス導入口および测温用熱電対挿入口の排気にも用いられる。

加熱には 111 KVA, 800 V, 960 サイクル電動発電機を使用し、励磁電流と蓄電器容量とによつて入力を調整し、電圧を変圧器によつて 175~300 V に降下して溶解炉に給電する。

III. 実 験 方 法

実験に供した製鋼原料は電解鉄、ならびに大気中で溶製した S10C, S15C, S40C, 60C および 100C 炭素鋼材 (80~110 φ) を用い、100~150 mm 長さにて切断して、銹取り、脱脂をおこなつたのち、マグネシア坩堝内に装入した。なお電解鉄の溶解においては、まず所要量の 60% を装入し、溶落後 40% を添加バケツにより追加装入した。電解鉄の脱酸は、あらかじめタンマン炉で溶製した Fe-C 合金によりおこなつた。

溶解実験においては溶落後一定時間ごとに溶鋼試料を採取し、化学分析により真空溶解過程における各種元素の挙動を調査した。

IV. 実験結果および考察

1) 炭素による脱酸効果

純溶鉄中の酸素の量 [%O] と気相中の酸素分圧 P_{O_2} との間にはつぎの関係がある。

$$1/2O_2(g) = \underline{O} ; \Delta F^\circ = -27930 - 0.57T \dots (1)$$

$$\Delta F^\circ = -RT \ln [\%O] / \sqrt{P_{O_2}}$$

すなわち溶鉄中の [%O] の低減を計るためには P_{O_2} をできるだけ下げなければならない。一方溶鉄中に炭素が存在する場合、その脱酸反応ならびに標準自由エネルギーの変化は次式で示され、 P_{CO} を低下させると炭素による脱酸力はいちじるしく増大する。

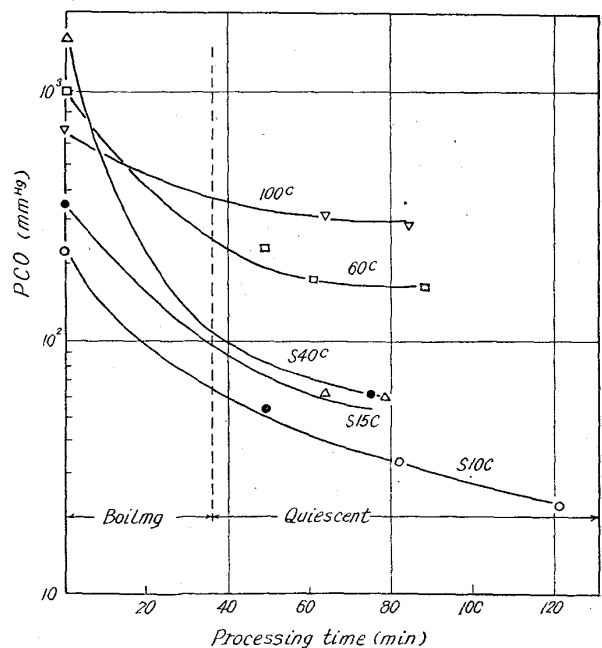
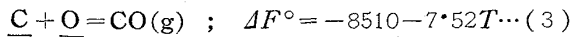


Fig. 2. Change in P_{CO} during refining of the various carbon steel.



$$K_{1600^\circ\text{C}} = P_{\text{CO}}/a_{\text{C}} \cdot a_{\text{O}} = 433 \dots \dots \dots (4)$$

いま BENNET らの求めた $\log f_{\text{C}}^{\text{C}} = 0.23 [\% \text{C}]$, $\log f_{\text{O}}^{\text{O}} = -0.36 [\% \text{O}]$, $\log f_{\text{O}}^{\text{O}} = -0.20 [0 \%]$, $\log f_{\text{O}}^{\text{C}} = -0.6 [\% \text{C}]$ を使用して各鋼種の精錬過程における P_{CO} を求めると Fig. 2 のようになる. すなわち真空溶解における初期段階, つまり溶浴後 30~40 分間にわたり, $\underline{C} + \underline{O} = \text{CO}(g)$ 反応の進行にともなつて激しい沸騰を生起し, P_{CO} は急速に低下し, 溶鋼中の酸素量は溶湯中の炭素量に応じて MgO 坩堝を使用した場合に到達する最低値まで低下する. 以後は MgO 坩堝より溶鋼への酸素の導入, ならびに酸素の増加にともなう $\underline{C} + \underline{O} = \text{CO}(g)$ 反応が同時に生起し, 脱炭反応が徐々に進行して鎮静末期では脱炭および脱酸速度はほぼ一定の値に達する. 沸騰期において効果的に脱炭および脱酸が進行するのは $\underline{C} + \underline{O} = \text{CO}(g)$ 反応の反応速度が非常に早く, CO 気泡の生成が容易なためである.

CO 気泡が生成するためには, CO 気泡内の P_{CO} が炉内静圧, 溶鋼の静圧ならびに CO 気泡の表面エネルギーの総和よりも大きくなければならない. したがつて溶鋼を攪拌すると渦流の中心負圧部に気泡核を生じ, CO 気泡を生成し, 炭素による脱酸が大いに促進されるものと考えられる. そこでこのような考えにもとづいて S10C の溶解においてアルゴンを吹込み, 溶鋼の攪拌をおこなつたところ, Fig. 3 および Fig. 4 に示したように攪拌をおこなわない場合に比較して脱酸速度は 15~25% 向上した.

2) マグネシア坩堝と溶湯との反応

マグネシア坩堝内における溶解に際しては, 溶湯とマグネシアとの間に (5) 式で示した反応がおこり, 溶湯中のマグネシウムおよび酸素量の増加をきたす.

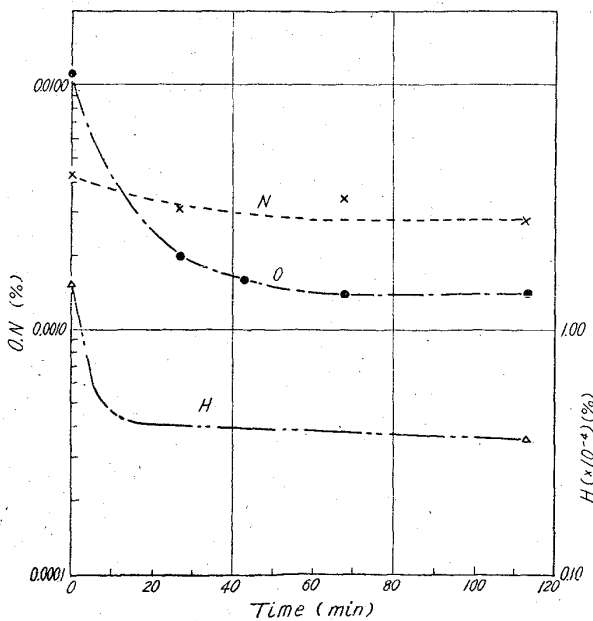
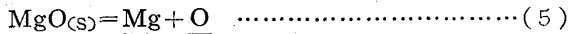


Fig. 3. Quantitative changes of oxygen, nitrogen and hydrogen during vacuum melting of low carbon steel S10C.

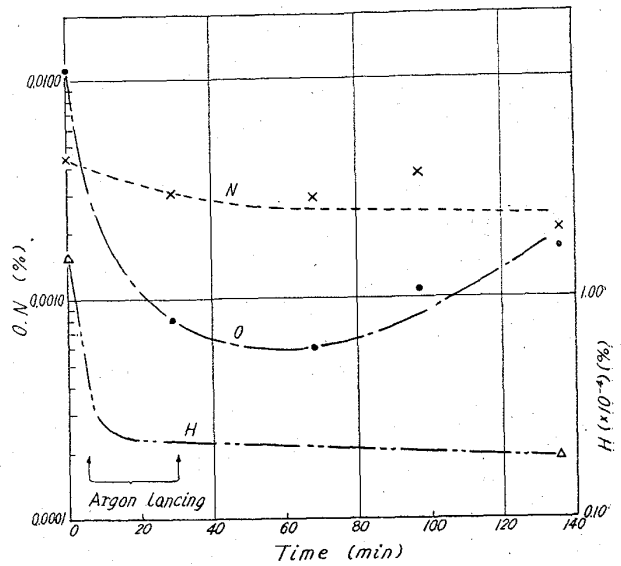
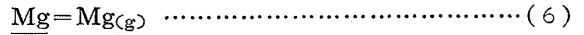


Fig. 4. Effect of stirring by argon lancing on quantitative changes of oxygen, nitrogen and hydrogen, during Vacuum melting of low carbon steel S10C.

真空溶解においては溶湯中に導入されたマグネシウムは (6) 式に示したように順次蒸発して気相に逸散してそ



の一部は減少する. (5) 式の反応によつて溶湯中に導入された酸素は炭素によつて脱酸されて系外に除かれるわけであるが, 真空溶解過程を通じ, 常に (5) 式の反応が進行するので, いずれの炭素濃度においても分析によつて定量される酸素量は, 炭素量に平衡する酸素量よりも常に幾分多くなる. その 1 例を参考までに Fig. 5 に示す. また同図にもみられるようにマグネシア坩堝による真空溶解においては, その脱酸過程における炭素量の減量が化学量論的に予想される量よりもかなり多い場合がある. これは勿論溶湯中の炭素量ならびに炭素による脱酸反応速度にもよるが, 低下下における炭素の脱酸力が非常に強く $\text{MgO}(s) + \underline{\text{C}} = \underline{\text{Mg}} + \text{CO}(g)$ の反応がかなり顕著におこることに起因すると考えられる.

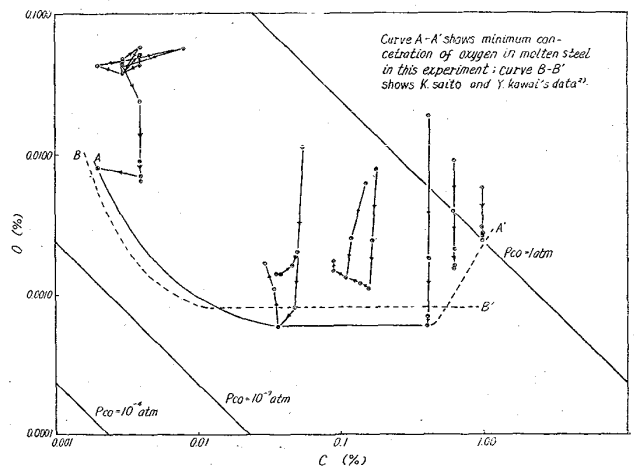


Fig. 5. Relation between carbon and oxygen in molten steel during vacuum melting by use of magnesia crucible.

マグネシア坩堝を使用して各種炭素鋼を 10^{-5} ~ 10^{-4} mmHg の圧力下で真空溶解をおこなった本実験結果によれば, [%C] [%O] は 2.2×10^{-5} ~ 9.2×10^{-4} である。この値は A. M. Aksoy³⁾ が 10^{-4} ~ 10^{-7} atm 程度の圧力下において真空溶解をおこなった実験結果, すなわち小型炉 (<50lb) の場合における値 [%C] [%O] = 1×10^{-6} ~ 2.5×10^{-5} また大型炉 (<1 Ton) の場合における値 [%C] [%O] = $1 \sim 6 \times 10^{-5}$ とほぼ一致している。

3) 脱窒素

溶鋼中の窒素量と圧力との間には Sieverts の法則が成立することは周知の事実であり, 窒素の分圧を小さくすればするほど溶解中における窒素の溶解度は減少する。一方窒素の溶解度におよぼす共存元素の影響もかなり大きく, 本実験結果によれば炭素量の多い場合ほど窒素の減少率は大きい。また脱窒速度は溶解初期から沸騰期末にかけてかなり大きく, 溶鋼中の窒素量の減少とともに, 漸次小さくなり, 鎮静期末ではほぼ一定の速度に達する。

4) 脱水素

溶鋼中の水素の溶解度と圧力との間にも Sieverts の法則が成立し, 真空溶解においては溶湯中の水素は窒素と同様に減少するが, その程度は水素原子の大きさから考えて, 窒素の場合よりもはるかに顕著である。本実験によれば, 真空溶解による脱水素率は 85% 以上に達しており, とくに溶解初期においては激しい CO 気泡の発生が脱水素に大きく寄与していることを認めた。

5) 合金元素の蒸発

溶鋼中において蒸発し易い元素は一般に Mn, Al, Sn, Si などであるといわれているが, 本実験において明瞭に減少の認められた元素は Mn のみである。Al は溶鋼中における濃度が高い場合には, 若干の減少が認められる。ところが蒸発による溶湯中の Mn 濃度の低下は現場的に計算で求めた値よりも少ない。このことは蒸発の律速段階が蒸発面への Mn の拡散にあることを示すものである。

一方 Mn 量の減少は各種鋼種の真空溶解材の溶製に際して非常に大きな問題となるが, これは溶解室に適当な圧力, 例へば 20mmHg 程度の圧力のアルゴンを導入すれば蒸発した Mn 原子の平均自由行路が短くなり, アルゴン原子との衝突係数がいちじるしく大きくなるので, 実際の Mn の蒸発減量をかなり少なくし, 結果的に蒸発を最小限度に喰止めることができる。この種の方法によれば真空溶解によつて実用鋼種の規格範囲内に Mn 量を調整添加することは非常に容易であり, Mn の添加歩留はほぼ 100% である。

V. 総括および結言

100kg 真空誘導溶解炉を用いて化学量論的な立場より真空溶解過程における化学成分ならびに各種酸化物の挙動を検討した結果を総括すると, つぎのとおりである。

① 精錬の初期段階では, 溶湯の沸騰現象をとらなつて炭素による脱酸が迅速に進行し [%C] [%O] の限界値に達する。精錬の後期では, 鋼浴中の炭素と坩堝材すなわち MgO との反応が支配的になる。

② 精錬過程で溶湯を攪拌することにより, 溶湯の脱

酸速度は 15~25% 早くなる。

③ 本実験における [%C] [%O] の値すなわち到達限度は, 2.2×10^{-5} ~ 9.2×10^{-4} の範囲内にあり, 過去の研究者たちの結果とはほぼ一致している。

④ 窒素および水素量は精錬過程の初期において速かに到達限度に達し, その後はほぼ一定の値を保つ。なお本研究において蒸気圧の高い Mn は溶解過程中にその一部が蒸発し, 坩堝の上部に蒸着し, 出鋼時溶鋼と接触してふたたび溶鋼中に溶けて入ることを認めた。また本研究においては, 真空誘導溶解炉に溶湯の連続测温装置を考察して設置し, さらに脱ガス効果ならびに清浄効果の促進を計るため, アルゴンによる溶湯攪拌技術を導入し, 安定な真空溶解操業法を確立するとともに, 高級材料開発上における基礎的な操業指針を把握することができた。

文 献

- 1) G. H. J. BENNETT & H. T. PROTHROS: J. Iron and steel inst. (U. K.), June (1960) 176.
- 2) 斎藤恒三・川合保治: 日本金属学会誌第 24 巻第 1 号 (1960) A11
- 3) A. M. AKSOY: "Vacuum Metallurgy". R. F. Bunshah ed. Reihold Publishing corp. New York (1958), 64.

(62) 超低炭素ステンレス鋼の真空弧光溶解

住友金属工業, 鋼管製造所

江藤重任・井上 愷・〇市川 浩

Vacuum Arc Melting of Extra Low Carbon Stainless Steel.

Sigetō ETŌ, Akira INOUE and Hiroshi ICHIKAWA

I. 緒 言

真空弧光炉は難溶金属または活性金属の溶解に用いられるばかりでなくより高度の品質を目標とした鋼の再溶解にも適用せられる。通常の大気中溶解により製造された鋼が真空弧光炉によつてどの程度改善されるかということは興味ある問題である。最も大きい改善の一つは凝固組織において認められる。これに次ぐものはガス成分およびインクルージョンの減少である。これは耐火物や大気との接触がないことによるものであるが, 真空弧光溶解を繰り返した場合これらの不純物はどこまで除去されるかということもわれわれの興味を惹く問題である。

住友金属工業株式会社鋼管製造所ではさる昭和 35 年 900kg 真空弧光溶解炉を設置し Ti の溶解を始め各種特殊鋼の再溶解を行なつてきているが, この程, 超低炭素ステンレス (ASTM-TP316L, JIS-SUS33) について主として微量不純物の挙動を調査したのでその結果つ報告する。

II. 供 試 材

まず 8 t 弧光式電気炉で溶解された TP316L の鋼塊を圧延しこれを電極として真空弧光炉で再溶解を行な